

Teknillinen korkeakoulu
Sähkö- ja tietoliikennetekniikan osasto

Jori Reijula

ÄLYKÄS POTILASVUODE TEHOHOITOPOTILAAN SEURANNASSA

Diplomityö on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi diplomi-insinöörin
tutkintoa varten Espoossa 10.5.2007

Työn valvojana toimi prof. Iiro Jääskeläinen ja
ohjaajana prof. Raimo Sepponen

Jori Reijula (2007) Älykäs potilasvuode tehohoitopotilaan seurannassa. Teknillinen korkeakoulu (TKK), Otaniemi. Elektroniikan ja sähkötekniikan koulutusohjelma (EST). Diplomityö.

Diplomityön Tiivistelmä

Sairaaloiden tehohoitoyksiköissä työskentelevät sairaanhoitajat ja lääkärit joutuvat päivittäin tekemisiin potilasvuoteiden kanssa, joissa on runsaasti potilaiden valvontaan tarvittavia laitteita ja johtoja. Sängyssä makaavan potilaan irroittaminen johdoista ja johtojen uudelleenkiinnittäminen hidastaa hoitohenkilöstön työskentelyä lisäten sairaalassa tarvittavan henkilökunnan määrää ja sairaanhoitokustannuksia. Kaapelimäärän vähentäminen paitsi helpottaisi sairaalahenkilökunnan työskentelyä, se myös nopeuttaisi ja tehostaisi sairaalaan saapuvien, kriittisessä tilassa olevien potilaiden hoitoa ja vähentäisi myös hoitotapahtumiin liittyviä virheitä ja todennäköisesti jopa potilaskuolemia.

Langaton potilasmonitorointi tarjoaa ratkaisun kaapelimäärän vähentämiseen. Tässä diplomityössä esitetään tämän hetken käyttökelpoisimmat tekniikat sairaalaympäristön langattomaan tiedonsiirtoon. Varteenotettavimman ratkaisun tarjoavat lyhyen kantaman langattomat tiedonsiirtoverkot, jotka hyödyntävät teknologioita kuten mm. Bluetooth, UWB ja ZigBee. Lisäksi esitellään lyhyesti keskipitkän kantaman WLAN-verkot ja pitkän kantaman WAP-pohjainen tiedonsiirto.

Tämän lisäksi tässä työssä on valmisteltu ”älykkään potilasvuoteen” prototyyppi. Se on langaton potilasvuode, joka monitoroi potilasseurannan tärkeimpiä parametreja, joita ovat mm. EKG, verenpaine, pulssin etenemisaika, lämpötila, hengityksen monitorointi, liikkeen monitorointi, hapettuminen, pulssioksimetria sekä hiilidioksidin osapaineen mittaaminen. Työssä käydään kukin edellä mainituista läpi lyhyen teoriakatsauksen muodossa.

Työssä pohditaan myös langattoman tiedonsiirron vaikutusta nykysairaaleknologiaan; miten se näkyy tehohoitopotilaiden seurannassa tällä hetkellä, ja miten langattomuus tulee kehittymään tulevaisuuden sairaaloissa.

Avainsanat: tehohoitopotilaan seuranta, älykäs potilasvuode, langaton tiedonsiirto

Jori Reijula (2007) Intelligent patient bed and intensive care patients

Helsinki University of Technology (HUT), Otaniemi. Degree Programme of Electronics and Electrical Engineering. Master's Thesis.

Abstract of the Master's Thesis

The nurses and doctors working in the intensive care units of hospitals have to daily deal with patient beds that are connected to numerous cables and wires used to monitor patients. Detaching a patient who is lying in a bed with wires and then reattaching him slows down the work pace of the medical staff thus increasing the amount of staff and money needed to upkeep the hospital. Reducing the number of cables used not only eases the work of the hospital staff but also accelerates the treatment of patients arriving in the hospital, makes the treatment more effective and also apparently reduces the number of treatment errors and even patient mortality rates.

Wireless patient monitoring offers a solution to reducing the number of cables used. This thesis presents the most useful present technologies for wireless data communication. Currently, short range wireless networks offer the most noteworthy solution to this problem. We shortly discuss the technologies enabling short range wireless networks to be built, such as Bluetooth, UWB and ZigBee. Also medium range wireless networks (WLAN) and long range wireless networks (WAP) are shortly discussed in this text.

In addition, this work introduces the prototype of an "intelligent patient bed". It is a wireless patient bed that monitors the most important parameters of patient monitoring, which are, for example ECG, blood pressure, pulse transit time, temperature, respiratory monitoring, accelerometry, oxygenation, pulse oximetry and measurement of partial carbon pressure. The present report covers each of the parameters mentioned before in a form of a short theory representation.

The report also discusses the effect wireless data communication has in modern hospital technology; how it can be seen in the study of intensive care patients and how the development of wireless technologies can be seen in future hospitals.

Keywords: study of an intensive care unit patient, intelligent patient bed, wireless data communication

SISÄLLYSLUETTELO

DIPLOMITYÖN TIIVISTELMÄ

ABSTRACT OF THE MASTER'S THESIS

SISÄLLYSLUETTELO

ALKULAUSE

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

1	Johdanto	10
2	Kirjallisuuskatsaus	13
2.1	Leikatun ja tehohoidon potilaan seuranta	13
2.1.1	Elektrokardiografia	16
2.1.2	Verenpaine	20
2.1.3	Pulssin etenemisaika	22
2.1.4	Hengityksen monitorointi	22
2.1.5	Liikkeen monitorointi	26
2.1.6	Hapetusaste	27
2.1.7	Pulssioksimetria	27
2.1.8	Hiilidioksidin osapaineen mittaus	30
3	Langaton tiedonsiirto	31
3.1	Lyhyen kantaman langattomat verkot (WPAN)	34
3.1.1	SWAP	36
3.1.2	Bluetooth	36
3.1.3	Ultra Wide Band (UWB)	38
3.1.4	ZigBee	40
3.2	Keskipitkän kantaman langattomat verkot	42

	3.2.1	WLAN/Wi-Fi	42
3.3		Pitkän kantaman langattomat verkot	42
	3.3.1	WAP-pohjainen tiedonsiirto	42
	3.3.2	Cellular digital packet data (CDPD)	44
4		Sairaalavierailut	44
4.1		Aineisto ja menetelmät	45
	4.1.1	Sairaalat ja henkilöstö	45
	4.1.1.1	Tehohoitopotilaan kulku sairausosastolla	46
	4.1.2.1	OYS - WILHO (langaton sairaala)	48
	4.1.2.2	Meilahden sairaalan teho-osasto	52
	4.1.2.3	Jorvin sairaalan teho-osasto	53
	4.1.2.4	Mehiläisen sairaalan teho-osasto	56
	4.1.3	Kyselyt ja haastattelut	57
	4.1.4	Laitekannan katselmukset	58
	4.1.4.1	EKG-monitorointi	58
	4.1.4.2	Verenpaineen seuranta	59
	4.1.4.3	Hengityksen monitorointi	60
	4.1.4.4	Hapetusaste	61
	4.1.4.5	Infuusiolaitteet	61
4.2		Tulokset	64
4.3		Tulevaisuuden langaton sairaala	69
4.3.1		Haasteet tulevaisuuden sairaalalle	70
5		Tekninen ratkaisu älykkäälle potilasvuoteelle	72
5.1		Spesifinen sovellusverkko (SAN)	72
5.2		Täsmennetty sovellusverkkojärjestelmä	74
5.3		Älykäs potilasvuode	78

6	Pohdinta	79
6.1	Sairaalavierailut	79
6.2	Sairaalakyselyt ja haastattelut	87
7	Johtopäätökset	91
8	Lähdeluettelo	94
9	Liite 1	98

ALKULAUSE

Tässä diplomityössä kuvatus älykkään potilasvuoteen idea syntyi professori Raimo Sepposen kanssa käydyissä keskusteluissa, joissa tuli esiin tarve kehittää tehohoitopotilaan seurantaa uutta teknologiaa soveltamalla. Diplomityö tehtiinkin prof. Sepposen johtamassa Sovelletun elektroniikan laboratoriossa, jossa tutkimustyöni aikana oli kehitteillä vastaavan potilasvuoteen prototyyppi. Kiitän lämpimästi prof. Raimo Sepposta hyvästä tehtäväkuvauksesta ja diplomityöni ohjaamisesta.

Teknillisen korkeakoulun sähkö- ja tietoliikennetekniikan osaston professori Iiro Jääskeläinen on toiminut työni valvojana ja kiitän häntä siitä, että sain tehdä työtäni hänen johtamallaan osastolla.

Diplomityöni käytännön osuus toteutettiin sairaaloissa, joiden henkilökunta ystävällisesti auttoi tutkimuksessa tarvittavien tietojen keräämisessä. Haluan kiittää seuraavia kohdesairaloissa toimineita asiantuntijoita arvokkaasta avusta: Pirjo Helminen, Kari Haukipuro, Anneli Hakuli, Riitta Donner, Anne Kaarlola sekä Satu Malmqvist.

Haluan kiittää myös isääni, professori Kari Reijulaa Työterveyslaitoksesta, hänen aktiivisesta avunannostaan ja ohjauksesta diplomityöni kanssa. Lopuksi kiitän tuesta myös tyttöystävääni Emmi Harnoaa sekä perhettäni ja ystäviäni.

Helsingissä 2.5.2007

Jori Reijula

LYHENTEIDEN JA MERKKIEN SELITYKSET

AP	Asystole Pressure
BT	Body Temperature
CBR	Constant Bit Rate
CDMA	Code Division Multiple Access
CDPD	Cellular Digital Packet Data
CHIME	Collaborative Home Infant Monitoring Evaluation
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FCC	Federal Communications Commission
FFD	Full Function Device
GSM	Global System for Mobile Communications
fMRI	Functional Magnetic Resonance Imaging
HAM	Amateur Radio Operator Frequency
HDTV	High Definition Television
HF	Heart frequency
HUS	Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri
HYKS	Helsingin yliopistollinen keskussairaala
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IP-paketti	Internet-protokollan perusyksikkö
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LAN	Local Area Network
LeTe	Leikkaus- ja tehohoidon tulosityksikkö
MRI	Magnetic Resonance Imaging
ODL	Oulun diakonissalaitos
OYS	Oulun yliopistollinen sairaala
PC	Personal Computer
PCI	Peripheral Component Interconnect
PDA	Personal Digital Assistant
RF	Respiratory Frequency
RFD	Reduced Function Device

RFID	Radio Frequency Identification
RV	Respiratory Volume
SAN	Specific Application Network
SIDS	Sudden Infant Death Syndrome
SWAP	Shared Wireless Access Protocol
SNR	Signal Noise Ratio
TEKES	Teknologian ja innovaatioiden kehittämiskeskus
UHF	Ultrahigh frequency (0,3-3 GHz)
USB	Universal Serial Bus
UWB	Ultra Wide Band
VBR	Various Bit Rate
VHF	Very high frequency (30-300 MHz)
WAP	Wireless Access Protocol
Wi-Fi	Wireless Fidelity
WILHO	Wireless Technology in Hospital Operation Management
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network
WTLS	Wireless Transport Layer Security

1 Johdanto

Tämän päivän sairaalateknologia on vanhentunut moniin muihin teknologian aloihin verrattuna. Langaton tiedonsiirto on tehnyt voimakkaasti tuloaan ja vallannut markkinoita etenkin tietotekniikan ja tietoliikennetekniikan aloilla. Myös sairaaloissa olisi suuri tarve langattomille tiedonsiirtoratkaisuille, sillä esimerkiksi pelkkä tehohoitopotilaan kiinnittäminen potilassängyn mittausantureihin saattaa kestää yli 30 minuuttia. Sairaalahenkilökunnan aikaa kuluu myös muihin ”tarpeettomiin” toimenpiteisiin, kuten potilaan paikantamiseen ja jatkuvaan edestakaisin liikkumiseen potilaan ja pöytämikron välillä. Sairaaloissa on lisäksi tarve toimintaprosessien tehostamiseen ja langaton teknologia tarjoaa tähän erittäin varteenotettavan ratkaisun. Langattoman teknologian integrointi sairaalassa käytössä olevaan teknologiaan on kuitenkin ollut hidasta, vaikka esim. Yhdysvalloissa vuosittaiset investoinnit sairaaloiden teknologian kehittämiseen ovat olleet merkittäviä.

Terveystieteiden tutkimukset ovat Yhdysvalloissa noin 16 prosenttia ja Euroopassa noin kahdeksan prosenttia maiden bruttokansantuotteesta, joista tietotekniikkaan käytetään etenkin Euroopassa suhteellisen pieni osuus: Yhdysvalloissa suunnilleen 23 prosenttia ja Euroopassa vain noin yksi prosentti. Tämä selittää osaltaan sairaalateknologian hidasta kehitystä [Liikanen 2001].

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on aluksi kerätä sairaalahenkilökunnan, lähinnä sairaanhoitajien, kehittämisohdotukset teho-osastopotilaan monitorointiin käytettävistä laitteista ja menetelmistä. Lisäksi tässä työssä esitellään tehohoitopotilaan valvonnassa nykyisin käytettävät mittausvälineet ja mitattavat suureet sekä käydään pääpiirteissään läpi tutkittavina olevissa sairaaloissa käytettävän langattoman teknologian perusteet. Työssä esitellään myös langattoman potilasvuoteen prototyyppi, jota on tarkoitus testata jatkossa tulevaisuuden langattomassa sairaalassa.

Miksi potilasmonitorointi on tärkeää?

Esimerkiksi kirurgisen toimenpiteen aikana nukutuksessa tai tehostetussa hoidossa ollessaan potilas menettää hetkellisesti lukuisia luonnollisia reaktiomekanismeja, jotka tavallisesti reagoivat fyysisiin toimintahäiriöihin palauttaen elimistön toiminnan normaaliksi tai viestittävät lääkäreille ja hoitajille potilaan toimintahäiriöistä. Kun nämä mekanismit eivät enää suojele potilasta, jää potilasmonitorointilaitteiston tehtäväksi varoittaa sairaalahenkilökuntaa elimistön mahdollisista toimintahäiriöistä [Khandpur 2005].

Usein kirurgiset operaatiot ja tehohoito saattavat kestää useita tunteja. Tällöin lääkärit eivät leikkausten ym. toimenpiteiden aikana välttämättä kykene jatkuvaan potilaan tilan tarkkailuun, ja onkin tärkeää, että monitorointilaitteisto hoitaa potilaan tarkkailun ja varoittaa, kun tietty tarkkailtava arvo poikkeaa hälyttävästi normaalista. Tästä syystä kirurgiset toimenpiteet sekä tehostettu hoito ovat muuttuneet turvallisemmiksi, kun potilaan vaaralliseksi osoittautuvat toimintahäiriöt huomataan ajoissa ja tästä johtuvat potilaskuolemat voidaan ennaltaehkäistä [Khandpur 2005].

Leikkauksen jälkeen potilas siirretään tarkkailtavaksi potilassänkyyn. Tämä tarkkailu kestää useimmiten muutamasta päivästä viikkoihin ja sen on oltava ympärivuorokautista. Tämän vuoksi myös se tapahtuu sänkyyn kytketyllä potilasmonitorointilaitteistolla [Khandpur 2005].

Potilasmonitoroinnin päämääränä on arvioida potilaan tärkeitä fysiologisia muuttujia niiden biologisille toiminnoille kriittisinä ajankohtina. Diagnostisille ja tutkimuksellisille tarkoituksille on tärkeää tietää niiden senhetkinen arvo (tai muutostrendi) [Khandpur 2005].

Potilasmonitoroinnin päämäärä pitkällä tähtäimellä on ehkäistä potilaskuolemia:

1. organisoimalla informaatiota ja esittämällä se sellaisessa muodossa, että se parantaa ja helpottaa potilaan hoitamista.
2. vertailemalla useita tekijöitä, jotta saataisiin selvä esitys kliinisistä ongelmista.
3. prosessoimalla tietoa, jotta voidaan asettaa hälytyksiä kertomaan, kun potilaan tila muuttuu epänormaaliksi.

4. tuottamalla tietoa joka pohjautuu automaattiseen, hoitoon liittyvään tietoon
 5. tekemällä mahdolliseksi paremman hoidon vähemmällä henkilökunnalla
- [Khandpur 2005].

Miksi langaton monitorointi on tärkeää?

Tämän päivän sairaala on verrattavissa logistiikkayritykseen tai tavaratukkuun. Sairaala koostuu useasta osastosta, joiden läpi potilasta siirrellään ja sairaalahenkilökunta tarvitsee potilaasta reaaliaikaista tietoa suunnitellakseen tulevia toimenpiteitä. Lisäksi henkilökunnalla on oltava jatkuva yhteys kriittiseen potilasinformaatioon riippumatta heidän senhetkisestä sijainnistaan ja informaation on myös oltava helposti saatavilla. Tämän vuoksi sairaala on varsin otollinen ympäristö langattomalle monitoroinnille [Wireless patient monitoring 2005].

Sairaalassa tapahtuvan langattoman monitoroinnin tärkein tavoite on potilasturvallisuuden parantaminen. Automatisoimalla toistuvat hoitotehtävät voidaan minimoida inhimillisen erehdyksen aiheuttamat virheet ja niistä aiheutuvat vaaratilanteet potilashoidossa. Esimerkiksi langaton potilasmonitorointilaitteisto, joka varoittaa potilaan tietyn raja-arvon poiketessa hälyttävästi oletusarvostaan, parantaa merkittävästi potilaan turvallisuutta. Langattomuuden ansiosta jokaisesta sairaalan sängystä saadaan aikaan reaaliaikaisesti halutusta pisteestä monitoroitu potilassänky [Wireless patient monitoring 2005].

Myös potilashoidon laatu paranee reaaliaikaisen langattoman tiedon myötä. Näin hoitohenkilöstö kykenee parempiin hoitoratkaisuihin, kun heille kriittisen tärkeä potilasinformaatio on helposti ja nopeasti saatavilla, eikä sitä tarvitse etsiä monimutkaisista ja puutteellisista potilastietokannoista. Näin myös hoitohenkilöstön työtehokkuus paranee, kun potilaaseen liittyvää fysiologista informaatiota voidaan päivittää jopa kesken leikkauksen, jolloin muun henkilökunnan aikaa säästyy itse hoitotoimenpiteisiin. Lisäksi aikaa säästyy, kun esimerkiksi sairaalan operoivaa kirurgia voidaan langattomasti konsultoida ja lähettää hänelle potilasinformaatio mihin osaan

sairaalaa tahansa, jolloin kirurgin ei tarvitse kulkea edes keskusmonitorille asti saadakseen tiedon potilaan tilasta [Wireless patient monitoring 2005].

Vaikka langattoman, reaaliaikaisen infrastruktuurin luominen sairaalaympäristöön vaatiikin alussa huomattavan taloudellisen investoinnin, tulee se lopulta edullisemmaksi vaihtoehdoksi, kuin ”vanhanaikaisen” sairaalan ylläpitäminen. Jo aiemmin mainittu työtaakan keveneminen pienentää sairaalahenkilökunnan tarvetta ja vähentää tuntuvasti jatkuvia terveydenhoitokustannuksia. Lisäksi informaation sujuvampi eteneminen ja helposti sähköisesti paikasta toiseen siirrettävät potilaskansiot helpottavat sairaalahenkilökunnan työtaakkaa. Myös tehokkaampi potilaiden hoito ja parempi hoidon lopputuloksen laatu pienentää sairaanhoitokustannuksia tulevaisuudessa [Wireless patient monitoring 2005].

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Leikatun ja tehohoidon potilaan seuranta

Kun leikkaus on suoritettu, potilas siirretään ensin heräämään, josta leikkauksen jälkeinen potilaan seuranta alkaa. Tämän jälkeen seuranta jatketaan, kun potilas on siirretty vuodeosastolle toipumaan. Leikatun potilaan elintoimintoja seurataan tarkasti, jotta mahdolliset kriisitilanteet havaitaan viipymättä ja korjaavat toimenpiteet voidaan aloittaa. Keskeisimpiä seurattavia elintoimintoja leikkauksen jälkeen ovat sydämen ja verenkierron toiminta sekä hengitys. Lisäksi potilaan liikettä potilasvuoteessa seurataan arvioitaessa tajunnan tasoa ja myöhemmin valvottaessa esimerkiksi kivun aiheuttamaa liikehdintää tai potilaan nousemista vuoteesta. Leikkauksen jälkeen tulee seurata potilaan kehon lämpötilaa, jotta mahdolliset tulehduksiin (esim. haavainfektio) liittyvät kuumereaktiot tunnistetaan.

Leikatun ja tehostetussa hoidossa olevan potilaan monitorointi edellyttää yleensä elintoimintojen kannalta keskeisten suureiden valvontaa. Tehohoitopotilaan valvonta koostuu yleensä laajimmasta suureiden monitoroinnista. Tätä diplomityötä ja siihen liittyvää tutkimusta varten potilaan seurannan menetelmistä, laitteista ja toimintatavoista laaditaan esimerkki tehohoitopotilaan mukaisesti.

Oulussa hiljattain tehdyn selvityksen mukaan [Paksuniemi 2003] tehohoitopotilaan seurannassa keskeisimmiksi mitattaviksi suureiksi heitä hoitavat lääkärit luettelivat seuraavat asiat (taulukko 1):

Taulukko 1

<p><u>Kaksikymmentä tärkeintä teho-osastolla mitattavaa parametria:</u></p> <p>EKG (elektrokardiografia) (sydänfilmi)</p> <p>Hengitystaajuus</p> <p>spO₂ (pulssioksimetri)</p> <p>HR (heart rate, sydämen syke)</p> <p>Ydinlämpötila (sydämen sisältä) ja ääreisosien lämpötila (jalkapöydän päältä)</p> <p>CI (sydämen minuuttitilavuusindeksi, minuuttitilavuus/m²)</p> <p>svO₂ (happisaturaatio keuhkovaltimossa)</p> <p>FIO (sisäänmenevä happipitoisuus)</p> <p>ETCO₂ (ulostuleva hiilidioksidipitoisuus)</p> <p>Diureesi (kertyneen virtsan määrä)</p> <p>potilaan paino</p> <p>nestetasapaino (sisäänmenevät ja ulostulevat nesteet)</p>
<p>Systemaattiset paineet (SAP):</p> <p>SSAP (systematic systolic arterial pressure)</p> <p>SDAP (systematic diastolic arterial pressure)</p> <p>SMAP (systematic mean arterial pressure)</p> <p>CVP (keskuslaskimopaine)</p> <p>Keuhkovaltimopaineet: (PAP)</p> <p>PSAP (pulmonary systolic arterial pressure)</p> <p>PDAP (pulmonary diastolic arterial pressure)</p>

Nykyisin sairaalapotilaan seuranta leikkauksen jälkeen tai tehohoidossa toteutetaan siten, että potilas on kytketty sydämen, verenpaineen ja hapettumisen monitoroimiseksi laitteisiin, jotka toimivat mekaanisesti kehoon kiinnitettyjen antureiden tai mittareiden avulla ja tallentavat, näyttävät tai lähettävät tiedon mittavasta tapahtumasta välittömästi potilassängyn vieressä olevaan monitoriin. Näin leikkauksen jälkeen heräämössä tai vuodeosastolla esimerkiksi sydämen toiminta rekisteröityy 3-kanavaisella järjestelmällä sängyn vieressä olevaan monitoriin, josta lääkäri ja hoitaja voivat käydä tarkastamassa tilanteen reaaliaikaisesti. Tämä sydämen toiminnan tallentaminen vaatii nykYTEknologian näkökulmasta runsaasti muistia, joten edellä mainittu laitteisto ei välttämättä tallenna informaatiota ellei koneistoa ole ohjelmoitu niin tekemään. Sydämen toiminta voidaan siirtää langallisesti valvontatilan (esim. potilasosaston) kansliaan, jossa hoitohenkilöstö voi reaaliajassa samanaikaisesti seurata useamman potilaan tilaa useammalta monitorilta. Verenpaineen mittarit mittaavat käsivarresta verisuonen valtimoiden paineen ja tulos näkyy potilasvuoteen vieressä tai valvomossa olevassa monitorissa. Potilaan veren happiosapaine voidaan rekisteröidä esimerkiksi sormen ihon pinnalta ja näyttää tulos monitorilla.

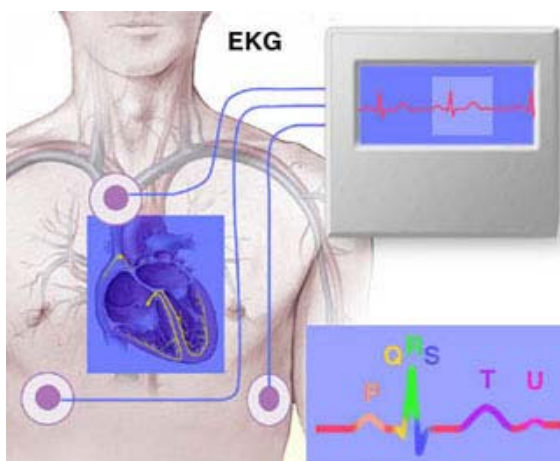
Edellä on kuvattu muutamien keskeisten elintoimintojen seurantaa tämän päivän sairaalassa. Tarkoituksena on kehittää potilasmonitorointia siten, että keskeisten elintoimintojen monitorointi voisi toteutua non-invasiivisesti (käytännössä potilaan ihon päältä) rekisteröimällä mitattava tapahtuma, jonka jälkeen se siirrettäisiin langallisesti potilasvuoteen tallentavaan ”keskusyksikköön”. Tästä informaatio olisi siirrettävissä eteenpäin langattomasti esim. Bluetooth-teknologiaa hyväksikäyttäen. Oleellista on, että potilaasta kerättävä tieto tulee olla siirrettävissä langattomasti keskusvalvomoon, jossa useamman potilaan seuranta voi toteutua samanaikaisesti. Laitteen prototyyppiä tarkastellaan perusteellisemmin diplomityön kappaleessa 5 – Tekninen ratkaisu älykkäälle potilasvuoteelle.

Seuraavaksi tarkastellaan kirjallisuuden perusteella joitakin keskeisimpiä elintoimintoja koskevia monitorointeja, mittauksen teoreettista taustaa ja mittaukseen käytettävää laitteistoa. Lopuksi tarkastellaan nykyisiä teknologisia sovelluksia, joita on jo kaupallisesti saatavilla ko. elintoimintojen monitorointiin.

2.1.1 Elektrokardiografia (EKG)

Potilaan sydämen toiminnan seuraaminen on yksi keskeisimmistä tehohoidossa olevan potilaan mitattavista elintoiminnoista. Sydämen lyöntitiheys, rytmihäiriöt sekä akuuttiin sydänlihaskvaurioon liittyvät muutokset voidaan rekisteröidä potilaaseen kytketyn monitorin avulla. Sydämen toiminnassa tapahtuvat muutokset heijastavat potilaan tilaa ja näiden muutosten reaaliaikainen monitorointi on välttämätöntä leikkausten jälkeen ja tehohoidossa.

Elektrokardiografiaksi (EKG) ("sydänfilmiksi") kutsutaan yleisesti sydämen aiheuttamien sähköisten toimintojen rekisteröintiä. Sydän aiheuttaa sykähtäessään voimakkaita aktiopotentialiheilahduksia, jotka leviävät sähköä johtavien nesteiden kuljettamana kaikkialle ympäri elimistöä. Niiden rekisteröiminen on melko vaivatonta ja voidaan suorittaa lähes mistä kohdasta elimistöä tahansa. Potentialiheilahduksia rekisteröitäessä kiinnitetään elektrodit, jotka johtavat sähköä, pääsääntöisesti standardoituihin mittauspisteisiin (kuva 1). Rekisteröintilaite piirtää kuvaajan, jota kutsutaan elektrokardiogrammiksi. Se kuvaa kahden elektrodin välisen jännitteen muuttumista ajan funktiona [Heikkilä 2006, Nienstedt, Hänninen 2004].

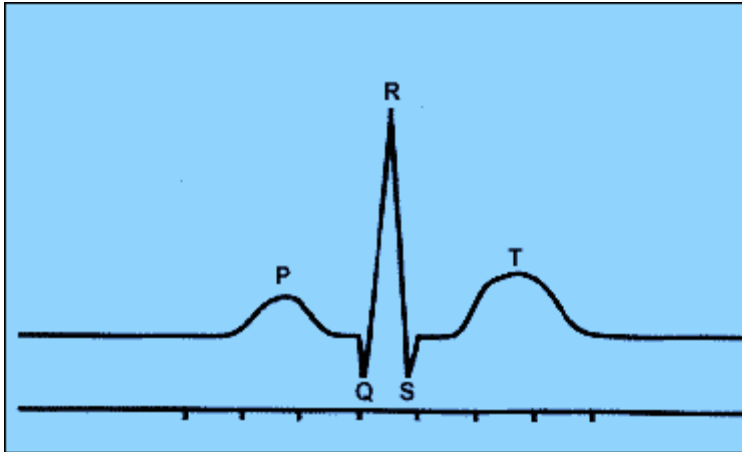


Kuva 1. Kolmipistekytentäisen EKG:n standardoidut mittauspisteet. EKG paloittelee jokaisen sydämen sykäyksen sarjaksi sähköisiä aaltoja. Näistä aalloista kolme; P-, QRS- sekä T-aalto liittyvät sydämen supistuksiin. P-aalto heijastaa aktiivisuutta sydämen ylemmissä kammioissa. QRS- sekä T-aalto heijastavat aktiivisuutta sydämen alemmissä kammioissa [<http://www.chadwickmedical.com/images/ekg.jpg>].

EKG:tä mitataan tavallisesti kiinnittämällä kumpaankin käteen sekä vasempaan alaraajaan kuhunkin yksi elektrodi. Tätä kokonaisuutta kutsutaan raajakytkennäksi. Tämän lisäksi kuusi elektrodi asetetaan rintakehälle siten, että ne kulkevat rivissä rintalastan oikeasta laidasta rintalastan vasempaan kupeeseen. Tätä puolestaan kutsutaan rintakytkennäksi ja tällöin molemmat kädet sekä vasen jalka ovat kytkettyinä yhteiseen vertailuelektrodiin. Vaihtoehtona rintaelektrodeille potilas voi käyttää myös nieltävää ruokatorvielektrodiä. Elektrodikytkentöjen suuri määrä johtuu siitä, että sydänvaurion paikka tulee määrittää tarkasti. Sydäntä voidaan näin tutkia eri suunnilta, mm. suoraan potilaan takaa, käyttämällä ruokatorvielektrodiä. Vaurio saadaan näkyviin useimmiten vain tietyn kytkennän avulla [Nienstedt, Hänninen 2004].

Sydämen toimintaa sekä mahdollisia piileviä vauriota voidaan tutkia myös rasisutuskokeen avulla, jolloin kohdehenkilön EKG mitataan ennen rasisutustilannetta, rasisutustilanteessa sekä sen jälkeen. Myös EKG:n pitkäaikaisrekisteröinti on hyödyllinen keino esim. rytmihäiriöiden seurannassa. Vektorikardiografiassa puolestaan luodaan kolmiulotteinen kuva sydämen sähköisestä toiminnasta. Nykyisellä teknologialla EKG-käyrät voidaan lähettää asiantuntijalääkärille lausuntoa varten langattomasti, esimerkiksi matkapuhelimen WAP-yhteyttä käyttäen [Nienstedt, Hänninen 2004].

Elektrokardiogrammi koostuu normaalisti P-aallosta, QRS-kompleksista sekä T-aallosta (kuva 2). Rekisteröivät jännitteet ovat suuruusluokaltaan muutamia millivoltteja. Ennen sydämen eteisen supistumista syntyy eteislihaksessa depolarisaatiovirta, joka aiheuttaa P-aallon. Ennen sydämen kammioiden supistumista syntyy niinikään kammiolihaksessa depolarisaatiovirta, joka aiheuttaa QRS-kompleksin. T-aalto johtuu puolestaan kammioiden lepojännitteen palautumisesta eli repolarisaatiosta [Rosenberg et al 1999].



Kuva 2. Elektrokardiogrammi, joka koostuu P-aallosta, QRS-kompleksista ja T-aallosta [<http://www.soveinc.com/Scanned%20Images/ekg.gif>].

Nykyisin käytössä sydämen toiminnan monitorointiin on kiinteä 12-kanavainen EKG-rekisteröinti, jota käytetään esim. perusterveydenhuollossa potilasvastaanotoilla ja sairaaloiden poliklinikoilla. 12-kanavaisen EKG:n tuloste on yleensä paperiliuska, jonka tulkinta on helpompaa ja tarkempaa kuin monitorista tulkittava sydäncäyrä. EKG-tuloste arkistoidaan potilaan muiden sairauskertomusten yhteyteen. Akuutteja potilastutkimuksia varten (esim. ensiapupoliklinikalla ja ambulansseissa) voidaan käyttää 3-kanavaista EKG-rekisteröintiä, jossa rintakehälle kiinnitetään kolme vakioanturia, joiden informaatio tallennetaan ja siirretään tarkasteltavaksi monitorille [Alesanco ym. 2006, Rosenberg ym. 1999].

EKG-tuloste voidaan nykyisin siirtää langattomasti esim. sairaalassa sijaitsevalle vastaanottimelle kahdella eri tavalla: reaaliaikaisesti tai esitallennettuna tiedonsiirtona. Aikaisemmin käytössä on tyypillisesti ollut esitallennettu tiedonsiirto. Menetelmä on yksinkertainen ja tehokas ja sitä voidaan käyttää tapauksissa, joissa reaaliaikainen EKG-käyrän valvonta ei ole välttämätöntä. Esimerkkinä tilanteesta, jossa esitallennettua tiedonsiirtoa käytetään, olisi mm. tilanne, jossa kotihoitopotilaan EKG-käyrää tallennetaan ja tieto lähetetään kardiologille analysoitavaksi ja tulkittavaksi. Vaikka esitallennettu tiedonsiirto onkin maailmanlaajuisesti ollut laajassa käytössä, valtaosassa kriittisistä sairastapauksista reaaliaikainen tiedonsiirto olisi kuitenkin parempi vaihtoehto [Alesanco ym. 2006].

Useissa alkavan sydäninfarktin sairastapauksissa on tullut ilmi, että ambulanssissa suoritettava reaaliaikainen 12-kanavainen EKG antaa lisää aikaa trombolyyttisen hoidon (sepelvaltimotukoksen liuotushoito) suorittamiseen, minkä tarkoitus on lopettaa sepelvaltimotukoksen aiheuttama sydänkohtaus ja palauttaa normaali sydänlihastoiminta. Vaikka esitallennettu tiedonsiirto on myös mahdollista suorittaa matkalla ambulanssista sairaalaan, on reaaliaikainen EKG-monitorointi parempi, sillä se antaa kardiologille enemmän aikaa tarkkailla potilasta sairaalasta käsin ambulanssimatkan aikana ja vähentää potilaan evaluointiaikaa tämän saavuttua sairaalaan. Tämä on erityisen tärkeää, kun potilaan kuljetusmatka sairaalaan on pitkä. Reaaliaikainen EKG-monitorointi edellyttää kuitenkin varsin tehokasta langatonta tiedonsiirtoyhteyttä [Alesanco ym. 2006].



Kuva 3. Esimerkki EKG-keskusmonitorin näytöstä. Kuvassa: 1) potilastiedot; 2) signaali-ikkuna; 3) HF-pulssi, AP-valtimoverenpaine, BT-ruumiin lämpötila, RV-hengitystilavuus, RF- hengitysnopeus; 4) hälytyskuvake; 5) tapahtumamuistio; 6) hälytys ja sairaanhoitajan kutsukuvakkeet; 7) huoneen lämpötilan ja huoneen valoisuuden indikaattorit; ja 8) aloitus/lopetusnäppäin kaikkien signaalien nauhoitukseen [Várady ym. 2002].

2.1.2 Verenpaine

Arviolta noin 50 miljoonalla eli noin joka neljännellä amerikkalaisella aikuisella on korkea verenpaine. Tästä huolimatta yli 15 miljoonaa heistä ei ole tietoinen tilastaan. Verenpaine on, etenkin teollisuusmaissa, eräs johtavista väestön kuolinsyistä. Myös Suomessa sydän- ja verisuonisairaudet ovat jo vuosikymmeniä olleet maan johtava kuolinsyy. Tästä syystä verenpaineen mittaaminen onkin yksi tärkeimmistä lääketieteellisistä hoitotoimenpiteistä [Budinger 2003].

Verenpaine lasketaan veren virtausmäärän ja perifeerisen kokonaisvastuksen perusteella. Perifeerinen- eli ääreisvastus tarkoittaa kaikkia niitä tekijöitä, jotka hidastavat veren virtausta suurista valtimoista poispäin. Pääasiassa tähän vaikuttaa veren ja verisuonten seinämien välinen hankaus, joka riippuu lähinnä verisuonten keskimääräisestä läpimitasta. Verenpaine riippuu sydämen pumppaaman veren määrästä sekä siitä, kuinka nopeasti veri pääsee virtaamaan valtimoista hiusverisuoniin [Nienstedt, Hänninen 2004].

Verenpaineen on oltava riittävän suuri, jotta veri pystyy nousemaan painovoimaa vastaan (lähinnä sydäimestä aivoihin). Verenpaine on sitä suurempi, mitä alempana veri sijaitsee ihmisen elimistössä. Tästä syystä yleensä aikuisen (kookkaaman) ihmisen verenpaine on suurempi kuin lapsen [Nienstedt, Hänninen 2004].

Verenpainetta mitatessa keskeiset termit ovat systolinen ja diastolinen verenpaine. Systolinen verenpaine tarkoittaa suurimmillaan olevaa suurten valtimoiden verenpainetta. Verenpaine on suurimmillaan, kun vasen kammio systolen aikana työntää verta suuriin valtimoihin. Diastoliseksi verenpaineksi kutsutaan pienintä suurten valtimoiden verenpainetta juuri ennen systolea. Diastolen aikana sydämen vasemman kammion verenpaine saavuttaa miniminsä. Sulkeutuneen aorttaläpän yläpuolella aortan verenpaine laskee sitä mukaa kuin verta siirtyy pienempiin verisuoniin. Nuorella, terveellä aikuisella systolinen verenpaine on keskimäärin 120 mmHg (16 kPa). Diastolinen verenpaine on puolestaan noin 75 mmHg (10 kPa) [Nienstedt, Hänninen 2004].

Verenpainetta voidaan mitata joko suoralla menetelmällä, jossa viedään katetri suonen sisään tai epäsuorasti Riva-Roccin kehittämällä mittarilla. Jälkimmäinen menetelmä, Riva-Roccin menetelmä on näistä yleisempi. Menetelmässä verenpaine mitataan normaalisti raajan, esim. käsivarren ympäri kierretyn mansetin avulla. Mansettiin pumpataan ilmaa ja tätä ilmanpainetta seurataan mittarista. Paine nostetaan niin korkeaksi, että mansetin puristuksen seurauksena valtimo painuu kasaan, jolloin veren virtaus tällä kohdalla pysähtyy. Tämän jälkeen painetta hitaasti lasketaan. Kun ilmanpaine mansetissa laskee verenpaineen huippuarvon alapuolelle, alkaa verivirtaa jälleen työntyä hetkittäin mansetin alitse. Näin aiheutuu sysäys, joka voidaan havaita tunnustelemalla pulssia mansetin alapuolella tai käyttämällä stetoskooppia. Systolinen verenpaine on se mittarinlukema, jolla kyseinen sysäys tulee havaittavaksi. Kun painetta on laskettu niin paljon, että diastolenkin aikana verivirta pääsee mansetin alitse, muuttuu verivirta sykkivästä tasaiseksi ja sykkeen ääni heikkenee äkillisesti. Tällöin saadaan diastolinen verenpaine. Se voidaan määrittää stetoskoopilla kuunneltaessa [Nienstedt, Hänninen 2004].

Verenpainetta mitatessa on syytä kiinnittää huomiota koehenkilön asentoon sekä fyysisten ja mahdollisesti myös henkisten tekijöiden vaikutukseen. Esimerkiksi vastikään suoritettu lihastyö kohottaa verenpainetta, kuten myös voimakas stressi. Kannettava verenpainemittari on tärkeä, koska sen avulla voidaan välttää tavallinen ”valkotakkiefekti” (kutsutaan myös vastaanottoverenpaineeksi), jossa lääkärin luo saapuessaan potilaan verenpaine yleensä nousee tai tietyissä tilanteissa saattaa myös laskea. Tämä johtuu siitä, että potilas voi jännittää lääkärissä käyntiä ja tämä aiheuttaa potilaalle suhteettoman korkeat verenpainearvot [Budinger 2003, Nienstedt, Hänninen 2004].

On myös mahdollista, että potilas saa käänteisen ”valkotakkiefektin”, jolloin potilaan verenpainearvot laskevat normaalia matalammiksi, sillä potilas tuntee olonsa rentoutuneeksi lääkärin ja hoitajien ympäristössä. Edellisistä johtuen kannettaville, potilaan itse käytäville, mittareille löytyy jatkuvasti kasvava kysyntä. Markkinoille on tullut vasta muutamia kannettavia verenpainemittareita, jotka mittaavat potilaan

verenpainearvot kotiolosuhteissa ja lähettävät ne langattomasti lääkärille sairaalaan, josta tämä voi vaivattomasti arvioida potilaan tilaa [Budinger 2003].

2.1.3 Pulssin etenemisaika

Pulssin etenemisaika viittaa aikaan, joka pulssiaallolla kestää kulkea kahden ääreisverenkiertoon kuuluvan pisteen välillä. Nopeus, millä valtimoverenpaineaalto matkaa, on käänteisesti verrannollinen verisuoniston joustokykyyn. Koska verisuoniston jäykistymisen (jännitystilan) ja akuuttisen verenpaineen kohouman välillä on suora riippuvuus, pulssin etenemisajan laskut ovat verrannollisia verenpaineen kohoumiin. Käänteisesti, kun verenpaine laskee, verisuoniston jäykkyys laskee ja pulssin etenemisaika kasvaa [Budinger 2003].

Pulssin etenemisajan mittauksen tärkeys piilee siinä, että verisuoniston rentous vaikuttaa ensi kädessä sydänverisuonitautien esiintymisherkkyyteen. Suhde verisuoniston rentouden tai mukautumiskyvyn heikkenemisen ja ateroskleroosin välillä uskotaan olevan suhteessa endoteelisen järjestelmän funktioon ja näin ollen myös ateroskleroosiin [Budinger 2003].

2.1.4 Hengityksen monitorointi

Aikuisen ihmisen hengitystiheys on lepotilassa noin 12-14 kertaa minuutissa. Yhdellä hengenvedolla vedetään noin puoli litraa ilmaa keuhkoihin. Minuuttitilavuudeksi tulee näin ollen noin 6-7 litraa lepotilassa. Lihasrasitus kasvattaa sekä hengitystiheyttä että hengityksen minuuttitilavuutta. Pienten lasten hengitystiheys on korkeampi kuin aikuisten, imeväisten jopa 30-40 kertaa minuutissa. Leikkauksenjälkeiset kipu ym. stressitilanteet sekä kuumereaktio lisäävät hengitystiheyttä [Nienstedt, Hänninen 2004].

Jotta voidaan todeta potilaan hengitys, vaaditaan sekä hengitysliikkeen että ilmapirran havaitsemista. Potilaan hengittäessä normaalisti tämä toimenpide vaikeutuu, jos

potilasta seurataan etäältä tai jos toimenpidealueen näkyvyys on peittynyt tai muuten heikko. Tässä tapauksessa käytetään useimmiten apneamonitoria, jollaisena toimii rintakehän EKG-elektrodien välistä, hengitysliikkeen aiheuttamaa, muuttuvaa impedanssia mittaava monitori [Rosenberg ym. 1999].

Kun vastuu hengityksestä siirretään koneelle, tulee hengityskiertoon kytkeä apneamonitori. Tällaisena toimii mm. positiivisen paineen hälytin, joka aktivoituu, jos kierron paine kriittisen ajan kuluessa (esim. parikymmentä sekuntia) ei nouse hengitysvirtausta aiheuttavaksi. Koska valvottava tapahtuma on ensisijaisen tärkeä, kannattaa aina varmistaa sen toteaminen aktivoimalla hälytykset myös pienestä uloshengityksen minuuttitilavuudesta tai puuttuvan uloshengityksen ilmaisevasta vähäisestä ja tasaisesta hiilidioksidista hengitysilmassa [Rosenberg ym. 1999].

Aina ei ole kuitenkaan mahdollista valvoa intuboitamattoman (eli henkilö ei ole kytketty hengitysputkella hengityskoneeseen) spontaanisti hengittävän potilaan hengityksen minuuttitilavuutta. Tässä tilanteessa on vaikea havaita hiilidioksidin kertymistä elimistöön ja onkin herkästi turvauduttava verikaasuanalyysiin, jotta voidaan sulkea pois hypoventilaation (vähentyneen keuhkotuuletuksen) mahdollisuus. Intuboidulta potilaalta on mahdollista mitata uloshengityksen minuuttitilavuus siten, että johdetaan uloshengityskaasut hengityskoneen respirometriin. Respirometri toimii joko turbiiniperiaatteella tai se laskee kaasun volyymin lämmitetyn sähkölangan jäähtymisestä. Tehokkain ratkaisu on sijoittaa anturi intubaatioputken kärkeen. Anturissa ohjataan osa ilmasta vastuksen läpi. Kun mitataan vastuksen kummallakin puolella oleva paine-ero, saadaan erittäin tarkka käsitys sekä sisään- että uloshengitetystä tilavuudesta. Jos näiden kahden välillä havaitaan merkittävä ero, on kyseessä oletettavasti ilmavuoto keuhkokudoksesta tai vuoto intubaatioputken kalvosimen ohi [Rosenberg ym. 1999].

Jokainen hengityskone sisältää painemanometrin. Hengitystiepaineen muutos, joka tapahtuu tilavuusohjatun ventilaation aikana, kuvaa keuhkokudoksen, hengitysteiden tai rintakehän tilaa herkästi, muttei kovin yksityiskohtaisesti. Paineen äkillinen nousu merkitsee tavallisesti joko intubaatioputken tukosta tai ilmarintaa. Hitaammin esiintyvät

paineen kohtalaiset nousut viittaavat yleensä joko lisääntyneeseen ilmatievastukseen tai heikentyneeseen keuhkokudoksen ja rintakehän myötäävyyteen eli komplianssiin. Dynaaminen komplianssi voidaan määrittää mekaanisen ventilaation aikana niin, että jaetaan hengityksen kertatilavuus sillä paineen muutoksella, minkä hengitys aiheuttaa. Komplianssi indikoi varsin herkästi keuhkokudoksen tilan. Heikkenevä komplianssi tarkoittaa tavallisesti keuhkojen nestepitoisuuden lisääntymistä joko kohonneen keuhkokapillaaripaineen tai permeabiliteettihäiriön johdosta ja voimistuva komplianssi puolestaan kertoo myönteisestä vasteesta terapiaan tai paremmasta ventilaatiomallista. Jos hengityskoneeseen on asetettu virtausmalli, jossa virtaus keskeytyy kokonaan sekä sisään- että uloshengityksen päätteeksi, voidaan tehdä päätelmiä ilmatievastuksesta ja komplianssista hengitystiepainneessa havaittujen muutosten perusteella. Paine-ero huippupaineen ja tasannevaiheen välissä on suoraan verrannollinen ilmatievastuksen kanssa ja tasannevaiheen paine on kääntäen verrannollinen komplianssin kanssa [Rosenberg ym. 1999].

Koko hengityssykliä voidaan tarkastella paine-tilavuus- ja tilavuus-virtaussilmukoita hyväksikäyttäen, kun hengitysletkujen ja intubaatioputken väliin lisätään anturi, jossa osa kaasuvirtauksesta johdetaan vastuksen läpi, ja mitataan paine-ero vastuksen yli. Valvontamentelmää kutsutaan sivuvirtausspirometriaksi. Silmukoita tarkastelemalla voidaan havaita keuhkojen ventilaation vaikeutuminen esim. keuhkopöhdössä sekä voidaan myös havaita uloshengityksen hidastuminen ja ilman salpautuminen keuhkoihin pienten ilmateiden ahtaumassa. Eräs tärkeä käytännön sovellutus sivuvirtausspirometrialle on endobronkiaaliputken liikkumisesta johtuvien virheasentojen pikainen havaitseminen [Rosenberg ym. 1999].

Eräs ensimmäisistä langattoman hengitysmittorin sovelluksista on radiolähetin-vastaanotinjärjestelmä mm. pienten lasten hengitysäntien kotimittorointiin. Nämä järjestelmät toimivat 900 MHz:n taajuudella ja mahdollistavat yhteyden vielä noin 30 metrin etäisyyksilläkin [Budinger 2003].

Päämotivaatio hengityksen mittorintijärjestelmille on ollut pyrkimys estämään ennakolta vastasyntyneiden äkkikuolema (sudden infant death syndrome eli SIDS), joka

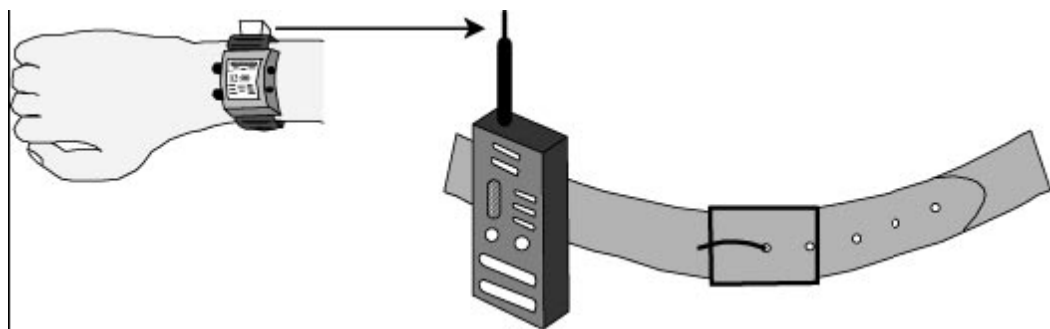
näyttää liittyvän aiheuttajalta tuntemattomaan hengityskatkokseen. Hengitysrytmejä mitataan tällä hetkellä suorilla lankakytkentäteknikoilla, jotka ovat vaivalloisia etenkin pikkulapsille sekä myös muille potilaille, sillä heihin kytketään samanaikaisesti kiinni useita johtoja [Budinger 2003].

Kaupallisesti saatavilla oleva sydämen ja keuhkojen monitori ”SpiroGuard C” (valmistaja Hoffrichter, Saksa) hyödyntää tehokkaasti hengityksen monitoroinnin sekä langattoman teknologian yhdistymisen mukanaan tuomia mahdollisuuksia. Laite toimii siis langattomana hälytysjärjestelmänä mm. pienten lasten hengityskatkoksien varalle. Jotta voitaisiin määritellä tunnistustarkkuudet keskushermoston hengityskatkoksille, ahtauttaville hengityskatkoksille sekä näiden sekoitukselle, suoritettiin kliininen koe, jossa vertailtiin monitorin signaalien taajuuksia sekä rytmejä niihin, jotka oli samanaikaisesti rekisteröity ääntä rekisteröivällä menetelmällä. Arviolta puolet hälytyksistä oli vääriä hälytyksiä. Näitä voitaisiin vähentää asettamalla apnean havaintoajaksi yli 15 sekuntia, kiristämällä hengitysvyötä tiukemmalle (parantamalla signaalia) ja laittamalla laite pois, kun lapsi on hereillä ja osoittaa fyysistä aktiivisuutta. Langaton järjestelmä tekee ”SpiroGuard C”:stä varteenotettavan vaihtoehdon kotimonitorointia varten [Budinger 2003].

CHIME:ä (Collaborative Home Infant Monitoring Evaluation) varten on myös kehitetty laite lasten monitorointiin kotiolosuhteissa, joka mittaa useita elintoimintoja. Monitori mittaa lapsen hengitystä hengityksen induktanssin pletysmografialla sekä rintakehän läpi kulkevan impedanssin avulla. Lisäksi mittauksen kohteena ovat lapsen EKG, sydämen syke, R-R tauko (kesto kahden perättäisen EKG:n R-aallon välillä), valtimoveren hemoglobiini O₂:n saturaatio elimistön ääreisosissa sekä nukkuma-asento. Tämän laitteen katsottiin olevan ylivertainen perinteisiin monitoreihin verrattuna ja siten sopiva CHIME-tutkimukseen [Budinger 2003].

2.1.5 Liikkeen monitorointi

Unen tutkimuksen tavoitteet ovat motivoineet liiketunnistinpohjaisten järjestelmien kehitystä mittaamaan kohdehenkilön liikkeitä. Nämä järjestelmät, jotka on kehitetty noin 15 vuotta sitten, perustuvat pietsoelektrisen sähkön tai kapasitanssin muutosta mittaaviin liiketunnistimiin. Järjestelmien suorituskyky on luotettava, jopa silloinkin, kun liiketunnistin mittaa vain yksiulotteista liikettä. Laitteita on kaupallisesti saatavilla lukuisista yrityksistä ja niitä käytetään tällä hetkellä potilaiden aktiivisuuden monitorointiin ja niitä markkinoidaan tarvikkeena kaikille, jotka ovat kiinnostuneita siitä, kuinka pitkiä matkoja he liikkuvat. Laitteet sopivat mainiosti esim. urheilutarkoituksiin. Laitteita voidaan käyttää esimerkiksi ranteen tai vyötärön ympärillä (kuva 4) [Budinger 2003].



Kuva 4. Päällepuettava liiketunnistin, joka mahdollistaa koehenkilön päivittäisen liikkumisen tai mahdollisen kaatumisen jatkuvan monitoroinnin. Langattomasti siirrettävä tieto voidaan tallentaa paikalliseen verkoston solmukohtaan tai vyöllä kannettava lähetin voi lähettää hälytyssignaaleja tai lähettää liikeinformaatiota esim. sairaalan monitorointilaitteistoon [Budinger 2003].

Vaikka valmistajat väittävätkin yksiulotteisten liiketunnistimien riittävän liikkeen tunnistamiseen, vaaditaan kolmiulotteinen laite tarkan fyysisen aktiivisuuden mallintamiseen sekä kaatumisen havaitsemiseen. Kaupallisesti saatavilla oleva kävelytunnistin on hyvä esimerkki yksiulotteisesta liiketunnistimesta. Se toimii

ainoastaan kävelyn vertikaaliliikkeen tunnistukseen, eikä reagoi lainkaan liikkeeseen horisontaalitasossa [Budinger 2003].

2.1.6 Hapetusaste

Leikkauksesta toipuvan ja tehohoidossa olevan potilaan elimistön hapettumista seurataan valtimoveren happiosapaineen (p_aO_2) muutoksia tarkkailemalla. Tämä voidaan tehdä valtimoverestä otetusta verinäytteestä analysoiden happiosapaineet kemian laboratoriossa. Nykyisin hapettumista voidaan seurata myös ihon läpi mitaten, esim. sormen päässä olevan anturin rekisteröimänä.

2.1.7 Pulssioksimetria

Oksimetria mittaa oksihemoglobiinin ja deoksihemoglobiinin suhdetta elimistössä. Kudoksen happisaturaatio nähdään hapen määränä elimistöä kiertävän veren hemoglobiinissa. Hapen määrä on tärkeä mitattava suure sairaalan akuutissa potilasmonitoroinnissa, sairaskohtauksien tapahtumapaikalla sekä tehokkaassa puoliakuutissa potilasmonitoroinnissa kotiolosuhteissa. Yksinkertaisin menetelmä hapen määrän mittaukseen on pulssioksimetria, missä valon differentiaalinen absorboivuus korvalehden tai sormenpään kapillaariverkoston läpi voi antaa kohtuullisen luotettavan parametrin, joka mahdollistaa jatkuvan monitoroinnin. Useimmat tämänhetkiset järjestelmät on suunniteltu langallisiksi, potilassänkyyn kytkettäviksi eikä langattomille laitteistolle ole ollut liiemmästi kysyntää. Tosin tulevaisuudessa kysyntä luultavasti kasvaa mm. lasten sekä uniapneapotilaiden etämonitoroinnin tarpeesta [Budinger 2003].

Pulssioksimetriassa mittaus suoritetaan kahdella määrätyllä aallonpituudella. Ensimmäinen aallonpituus on noin 660 nm, jossa valon absorboivuudessa on suuri ero Hb:n ja HbO₂:n välillä. Toinen aallonpituus valitaan tyypillisesti 805-960 nm:n välille lähelle infrapuna-aluetta. 805 nm:n läheisyydessä valon absorboivuus on suunnilleen

sama Hb:n ja HbO₂:n välillä. Happisaturaatioprosentin mittaaminen laboratorio-olosuhteissa on suoritettu vertaamalla siirretyn valovoiman määrää säteilyvalovoiman määrään. Toinen keino on verrata näiden kahden aallonpituuden optisia tiheyksiä keskenään. Mitattaessa luonnollisissa olosuhteissa on otettava huomioon laskimoveren sekä verettömien kudosten aiheuttama valon absorptio. Tämä saadaan aikaan vertaamalla optisia AC-tiheyksiä DC-tiheyksiin kahden kyseisen aallonpituuden yli. Nämä tiheydet määritellään lähetettyjen valosignaalien aikaeron avulla, joka saadaan pulssittamalla nopeasti valoa kahdella perättäisellä aallonpituudella sydämen lyöntisyklin aikana, mistä seuraa nimi pulssioksimetria [Budinger 2003].

Pulssioksimetriasignaali aiheutuu valtimoveren määrän muutoksista, jotka johtuvat sydämen sykkeestä. Signaalin voimakkuus riippuu ääreisverisuonistoon saapuvien veripulssien määrästä, veren, ihon ja kudoksen optisesta absorptiosta sekä aallonpituudesta, jota on käytetty valaisemaan veri. Sähköiset piirit erottavat signaalit kahdesta aallonpituudesta pulssillisiksi (AC) sekä pulssittomiksi (DC) signaalikomponentiksi. Algoritmi pulssioksimetrin sisällä suorittaa matemaattisen normalisoinnin, jonka mukaan AC-signaali kummastakin aallonpituudesta jaetaan vastaavan DC-komponentin mukaan. DC-komponentti liittyy verettömän kudoksen absorptioon jäljelle jäävään ääreisvereen, kun sydän on diastoleissa, laskimovereen sekä ihon pigmentin määrään. Koska oletetaan, että pulssillisten (AC) signaalikomponenttien osuus fotopletysmogrammista (hengitystiheysmittarista) johtuu ainoastaan ääreisverenkierron komponentista, tämä skaalausprosessi tuottaa normalisoidun infrapunasuhteen (R), joka on riippuvainen ääreisveren väristä, mutta riippumaton kudokseen saapuvan ääreisveren määrästä systolen aikana, ihon pigmentaatiosta, ihon paksuudesta sekä verisuonijärjestelmän rakenteesta. Näin ollen laitetta ei tarvitse kalibroida uudestaan eri potilaille suoritettavien mittausten välillä [Budinger 2003].

Uusista sovelluksista parhaimpiin kuuluu tällä hetkellä ranteeseen kiinnitettävä Minoltan Pulsox 3 – pulssioksimetri, jolla voidaan mitata sekä pulssinopeutta että veren happisaturaatiota noin 2 % tarkkuudella. Laitteiston näyttö sijaitsee ranteen kohdalla ja siitä kulkee johto sormenpäässä sijaitsevaan sensoriin. Laitteisto on markkinoiden pienimpiä ja se toimii kahdella AAA-paristolla noin 48 tuntia ja sen paino on 42

grammaa. Laitteessa on rajapinta tiedon keräämiseen niin, että tietoa voidaan lähettää kätevästi langattomassa lähiverkossa (WLAN) joko suoraan tiedonkeruukappaleille sairaalassa tai kotona tai epäsuorasti henkilön on-board LAN:in kautta [Budinger 2003].

Uutta kannettavaa PDA-pohjaista pulssioksimetrisovellusta on testattu ja kehitetty (Yuan-Hsiang Lin ja työryhmä, 2004). Myös tämä laite hyödyntää WLAN:ia. Pulssioksimetri on integroitu yhdessä kolmipäisen EKG-monitorin kanssa PDA-laitteeseen (kuva 5). Tämä tarjoaa pulssioksimetria- sekä EKG-tiedon reaaliaikaisen tallennus- ja eteenpäinlähetyksen mahdollisuuden. Järjestelmään kehitetty näyttö on kooltaan erittäin pieni ja kevyt, mikä mahdollistaa laitteen helpon kannettavuuden. Tämän lisäksi laitteen hyödyntämä WLAN-rajapinta parantaa merkittävästi laitteen käytettävyyttä langattomaan monitorointiin. Tutkimusten mukaan laite on varsin käyttäjäystävällinen sekä kätevä sovellus potilaan kuljetukseen [Lin ym. 2004].



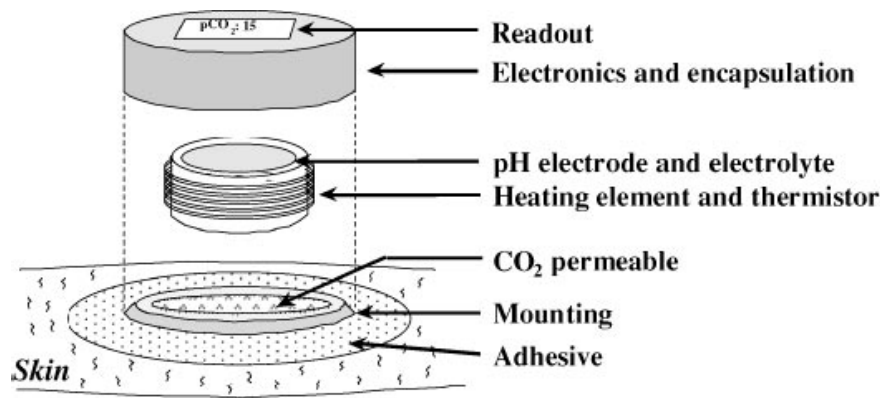
Kuva 5. WLAN-pohjainen kannettava langaton pulssioksimetri ja kolmipäinen EKG-monitori [Lin ym. 2004].

Huipputarkat ääreisverenkierron happisaturaatiomittaukset (S_aO_2) saadaan tavallisesti suoritettua käyttämällä läpäiseviä pulssioksimetrejä kliinisissä tilanteissa. Laitteiden käyttöalue rajoittuu pääasiassa ääreisalueiden kudoksiin, kuten sormenpäihin,

korvalehtiin sekä varpaisiin, joista voidaan havaita lähetetty valo. Vaihtoehtoisesti heijastusoksimetri voi mitata S_aO_2 :sta eri kohdista kehoa, etenkin muista kehon osista, kuten otsasta, poskesta, ranteesta jne. Heijastusoksimetriä varten on otettu käyttöön aallonpituusyhdistelmä 730/880 nm, jotta saataisiin heijastussuhteesta lineaarinen sekä laajempi S_aO_2 alue 30-100 % verrattaessa tätä perinteisissä järjestelmissä käytettävää 660/910 nm aallonpituusyhdistelmää. Pulssiheijastusoksimetrin anturia voidaan käyttää lukuisissa kehon osissa sekä sairaala- että kotihoidossa avustamaan aikaisessa sydämen, keuhkojen sekä ääreisverenkiertohäiriöiden diagnosoinnissa [Budinger 2003].

2.1.8 Hiilidioksidin osapaineen mitta

Hiilidioksidin osapaineen mittaamisen ihmisen ihon pinnalta esitteli ensimmäisen kerran Carman U. Severinghaus vuonna 1960. Ihon läpi, sitä kuitenkaan rikkomatta, tutkittava CO_2 :n osapaine voidaan mitata kuvan mukaisella kannettavalla laitteistolla (kuva 6) [Budinger 2003].



Kuva 6. Sensori, joka mittaa hiilidioksidin osapaineen ihon pinnalta. Ihon lämmittäminen edistää veren siirtymistä ääreisverenkiertoon [Budinger 2003].

CO_2 -anturi on lasinen pH-elektrodi, jossa on Ag/AgCl-referenssielektrodi, jota käytetään lämmityselementtinä. Elektrolyytinä toimiva bikarbonaattipuskuri sijoitetaan elektrodin pinnalle. Hiilidioksidia lävistävä ohut teflonpinta erottaa anturin ympäristöstään [Budinger 2003].

pCO₂-mittari toimii Stow-Severinghaus-periaatetta noudattaen, eli pH-elektrodi havaitsee muutoksen pCO₂ konsentraatiossa. Tätä laitteistoa kalibroidaan tunnetulla CO₂-konsentraatioratkaisulla. Anturin alaisen ihon lämmittäminen aiheuttaa kasvun mitatussa pCO₂:ssa, koska CO₂:n kudoksen liukoisuus heikkenee lämpötilan kasvaessa. Myös mitattava paikallinen kudoksen aineenvaihdunta kasvaa ihon lämmittämisen seurauksena, koska solun aineenvaihdunta on suoraan verrannollinen ihon lämpötilan kanssa. Lisäksi ihon lämmitys kasvattaa hiilidioksidin siirtymänopeutta stratum corneumin (uloin ihokerros) läpi, mikä kasvaa lämpötilan kasvaessa [Budinger 2003].

Näiden kolmen tekijän seurauksena (jotka kaikki pyrkivät kasvattamaan ihon päältä mitattavia pCO₂-arvoja) ihon lämmittäminen tuottaa pCO₂-arvoista suurempia kuin vastaavat verisuonijärjestelmän pCO₂-arvot. Tästä huolimatta ihon päältä mitatut pCO₂-arvot sekä verisuonijärjestelmän pCO₂-arvot korreloivat yleensä tyydyttävästi toistensa kanssa. Koska CO₂-elektrodin kalibraatiokuvaajan gradientti on käytännössä katsoen sama kuin Nernstin yhtälössä (1), ei kaksipistekalibrointia tarvita. Nernstin yhtälö voidaan kirjoittaa muodossa:

$$E = \frac{kT}{eZ} \ln \frac{c_u}{c_s} \quad (1)$$

Missä E on tasapainopotentiaali, k on Boltzmanin vakio, T tarkoittaa absoluuttista lämpötilaa, e on alkeisvaraus, Z ionin valenssi (Na⁺ ja K⁺, +1; Cl⁻, -1), c_u ionin pitoisuus solun ulkopuolella ja c_s sisäpuolella [Budinger 2003].

Ihon päältä mittaavilla pCO₂-sensoreilla on vasteet minuuttijärjestyksessä, jotka riippuvat itseaiheutetusta ihon lämpötilasta, kun vaadittu aika käytännössä suurimmalle mahdolliselle eli n. 44 asteen lämpötilalle on 3,5 minuuttia [Budinger 2003].

3. Langaton tiedonsiirto

Sairaalaympäristön langattomaan tiedonsiirtoon on olemassa kolme vaihtoehtoa: Radiotaajuiset sähkömagneettiset signaalit, optiset infrapunasignaalit sekä akustiset signaalit. Pääpaino langattomassa tiedonsiirrossa on yleensä keskittynyt radiotaajuisiin sähkömagneettisiin signaaleihin, mutta myös optinen tiedonsiirto voi olla tehokas ratkaisu; sen eräs keskeinen etu kahteen muuhun verrattuna on sen hyvä häiriönsietokyky (esim. sairaaloissa). Akustinen tiedonsiirto EKG-datan lähetykseen puhelinlinjoja pitkin on tuottanut jonkin verran tulosta, ja signaalien kommunikointi veden läpi on todistettu mahdolliseksi, mutta kaiken kaikkiaan akustinen tiedonsiirto on kahta edellämainittua selkeästi heikompi vaihtoehto ja jätetäänkin näin ollen tarkastelun ulkopuolelle [Budinger 2003].

Langattomassa sähkömagneettisessa tiedonsiirrossa käytetään kahta taajuusaluetta: 121 MHz tai 2,5 GHz. Tajuutta 2,5 GHz on yleisesti käytetty lyhyen kantaman LAN-lähiverkoissa, kun taas 121 MHz:ia käytetään pidempien etäisyyksien tiedonsiirrossa. Esimerkiksi verenpainetta mittaava rannekello lähettää signaalia, joka on lähellä 121 MHz:n taajuutta. HAM radiotaajuuksia ovat 141 MHz:n sekä 400 MHz:n kaistat. Matkapuhelintaajuuksia ovat puolestaan kaistat 900 MHz, 1800 MHz sekä 1900 MHz [Budinger 2003].

Kaksi FCC:n (Federal Communications Commission) määräämää taajuuskaistaa on otettu käyttöön lääketieteelliseen langattomaan tiedonsiirtoon. VHF (174-216 MHz) kattaa TV kanavat 7-13 ja lääketieteellinen langaton tiedonsiirto voi käyttää niitä taajuuksia, joita TV ei tarvitse. Lääketieteellinen UHF-kaista (450-470 MHz) on matalammalla kuin UHF-TV-kaista, mutta lääketieteellinen tiedonsiirto saa ainoastaan toissijaisesti käyttää kaistaa yksityisten mobiiliradiopalvelujen, kuten korkeita kommunikaatioitaajuuksia käyttävien hätäkulkuneuvojen, jälkeen. Toissijainen käyttäjä ei voi häiritä ensisijaisia hätämobiliyksiköitä, mutta toissijaisen käyttäjän täytyy sietää näiden mahdollisesti aiheuttamat häiriöt. Näiden kaistojen riittämättömyys tuli selväksi, kun sekä VHF- että UHF- taajuudet kattava digitaalitelevisio tuli markkinoille [Budinger 2003].

Tavalliset LAN-lähiverkot eivät rajoitu FCC:n määrittelemiin taajuuskaistoihin, mutta ovat silti alttiita esim. kännyköistä johtuville kohinahäiriöille, erilaisille tiedonsiirtohäiriöille sekä monikaistaiselle tiedon vääristymiselle [Budinger 2003].

Eräs kaupallisista sovelluksista joka sopii EKG:n mobiiliin potilasmonitorointiin sekä veren hapetusasteen mittaukseen pulssioksimetrialalla on ”Guardian Telemetry Transmitter Model 20601”, joka lähettää signaalin 450-470 MHz:n alueella ja maksaa noin 2500 dollaria. Näistä korkeampitehoisista mobiililähettimistä voidaan odottaa kehittyneempiä malleja koon pienentämisen myötä sekä lisäksi vaihtoehtoisia menetelmiä sydämen sykkeen pulssiaaltomuodon rekisteröintiin käyttämällä henkilökohtaista LAN-lähiverkkoa [Budinger 2003].

Álvaro Alesanco työtovereineen kehitti uuden, reaaliaikaisen tiedonpakkausmenetelmän EKG-signaaleille käyttäen ns. aallokemuunnos lähestymistapaa (engl. "wavelet transform approach"). Menetelmä on erityisen mukautuva pakettimuotoiseen tiedonsiirtoon ja toimii sekä langattomasti että langallisesti. Signaali jaetaan sykähdyksiin ja näistä muodostetaan sykähdysmallinnus, jonka mukaan tuotetaan lopullinen signaali. Sykähdysmallinteet ja tuotetut signaalit koodataan ns. aallokelajennuksella (engl. "wavelet expansion"). Tiedon pakkaus saadaan aikaan valitsemalla osajoukko aallokekertoimia. Valittavien kertoimien määrä riippuu raja-arvosta, joka puolestaan riippuu koodaajan toiminnallisesta moodista. Moodeja on kaksi, CBR ja VBR. CBR-moodissa ulostulobittimäärä on suunnilleen vakio. Tämä moodi toimii erityisen hyvin verkoissa, joissa on pieni ja tarkasti määritelty kaistanleveys, kuten esim. 2.5 GHz:n langattomat verkot. VBR-moodissa ulostulodatan määrä vaihtelee, mutta rekonstruointivirhe on rajattu. Pakkauksen tehokkuutta on testattu käyttämällä EKG-tallenteiden osajoukkoa ”MIT-BIH Arrhythmia” tietokannasta. Pakkausmenetelmä osoittautui hyvin tehokkaaksi ja toimii vaatimattomammallakin tietokonelaitteistolla. Álesancon mukaan jopa Pentium II 300 MHz prosessori 256 MB:n muistilla riittää reaaliaikaiseen tiedon pakkaukseen ja siirtoon C-koodauskieltä käyttämällä [Alesanco ym. 2006].

Langattoman tiedonsiirron maailmanlaajuiset mahdollisuudet demonstroitiin kokeella, jossa ilmassa lentävästä Boeing 757-lentokoneesta lähetettiin tärkeätä merkki-informaatiota kolmeen (sairaala-alueella sijaitsevaan) etäkohteeseen, jotka kaikki sijaitsivat maassa. Koska kaikki vastaanottoasemat luottivat perustettuun verkostoon saadakseen kyseisen informaation, ei ollut mahdollista siirtää tietoa mihinkään kohteeseen sairaala-alueen ulkopuolelle.

Tämä rajoitus voidaan tosin kumota käyttämällä internet-pohjaista WAP-teknologiaa. CDPD (Cellular Digital Packet Data) protokollat mahdollistavat jopa 19,200 bittiä sekunnissa nopeuksisen tiedonsiirron matkapuhelimeen. Lääketieteellinen data, joka sisältää verenpaineen, pulssin, hengitystiheyden, uloshengitysilman loppuosan CO₂:en, happisaturaation sekä EKG kuvat, siirrettiin 2G-matkapuhelimesta kannettavaan tietokoneeseen [Budinger 2003].

Langattomat sovellukset voidaan jakaa neljään luokkaan niiden käytön vaativuustason mukaan:

1. Elintärkeät sovellukset: käsittelevät potilaalle elintärkeitä tietoja, esim. teho-osaston sovellukset.
2. Tehtävälle tärkeät sovellukset: Potilaan diagnoosi- tai hoitotehtävälle tärkeät sovellukset. Esim. glukoositason mittaaminen kotona.
3. Hallinto-sovellukset: Mm. työnkulun tehostamista käsittelevät sovellukset, esim. kun potilaan paikannustiedot annetaan potilaskiertoa suorittavalle lääkärille langattomasti.
4. Muuten mielenkiintoiset sovellukset: Lähinnä käyttäjän työpäivän tekemistä miellyttävämmäksi. Esim. pelinomaiset, langattomuutta soveltavat ohjelmat lapsille, jotka samalla monitoroivat elintapojen muutosta (diabetes) [Alasaarela 2006].

3.1 Lyhyen kantaman langattomat verkot (WPAN)

WPAN on IEEE:n kehittämä standardi lyhyen kantamien verkkoja varten. WPAN:iin kuuluu neljä työryhmää: 802.15.1, 802.15.2, 802.15.3 ja 802.15.4. Ensimmäinen

työryhmä (802.15.1) perustuu Bluetooth-tekniikkaan. 802.15.2:n tehtävänä on puolestaan parantaa WLAN:n ja WPAN:n yhteensopivuutta tähdäten siihen, että verkot saataisiin toimimaan rinnakkain. Työryhmä 802.15.3 pyrkii kehittämään standardin suurinopeuksiselle tiedonsiirrolle. Lisäksi standardi tarjoaa edulliset sekä matalatehoiset ratkaisut sekä kannettaviin multimedia- että digikuvantamissovelluksiin. Tähän standardiin kuuluu mm. Ultra Wide Band (UWB). Työryhmä 802.15.4 kehittää ZigBee-tiedonsiirtotekniikkaa, jonka merkittävin hyötytekijä on energialähteen pitkä kesto. Pariston, joka toimisi energialähteenä, tulisi kestää useista kuukausista vuosiin saakka. ZigBee käyttää lisenssivapaata taajuuskaistaa, mikä on kansainvälisesti toimiva järjestelmä [IEEE 802.15 2007].

Lyhyen kantaman verkkojen eräs merkittävimpiä hyötyjä on hyvä tietosuoja sekä häiriönsietokyky verrattuna pidempien etäisyyksien tiedonsiirtoon. Tämä selittyy sillä, että isotrooppisen radiolähettimen johtama energia vaimenee etäisyyden neliönä, kun taas lähikentän voimakkuus vaimenee etäisyyden kuutiona. Lähikentän lyhyen kantaman verkko vaimenee siis nopeammin. Lisäksi myös maa vaimentaa signaalia, joten lähikentässä kulkevaan tietoon on vaikeampi päästä käsiksi [Bronaugh, Lamdin 1988].

Lupaavat uudet langattomat lyhyen kantaman verkot, jotka on suunniteltu tarjoamaan vastine vanhoille, langallisille teknologioille ja jotka ovat käytännössä käyttäjälle näkymättömiä, ovat hyötäneet lisenssivapaasta 2,45 GHz:n ISM-kaistasta sekä Pohjois-Amerikassa että Euroopassa. 2,45 GHz:n ISM-kaistan etuna on sen meluttomuus, suuri kaistanleveys sekä parempi antennin tehokkuus VHF- ja UHF-kaistoihin verrattuna. Tällä hetkellä on olemassa kaksi järjestelmää, jotka käyttävät tätä kaistaa, SWAP ja Bluetooth. Sekä SWAP että Bluetooth protokollat täyttävät osittain IEEE 802.11-standardin määrittelyt langattomalle LAN-lähiverkolle. Järjestelmät eivät ole yhteensopivia keskenään ja voivat näin ollen häiritä toinen toistaan [Budinger 2003, Crumley 2000].

Lyhyen kantaman tiedonsiirtoverkot ovat tällä hetkellä paras vaihtoehto langattoman sairaalaympäristön luomiseen. Syynä tähän on niiden tarjoama tiedonsiirron

luotettavuuden sekä tietoturvan taso verrattuna pidempien etäisyyksien tiedonsiirtoon. Lisäksi ne eliminoivat pidempiä etäisyyksiä paremmin muiden laitteiden aiheuttaman interferenssin tiedonsiirtotaajuudella. Näistä johtuen potilastiedon turvallisuustaso on korkeampi, mikä parantaa myös potilaan turvallisuutta. Menetelmän etuna on lisäksi alhainen tehonkulutus sekä hinta verrattuna pidempien etäisyyksien tiedonsiirtoverkkoihin [Paksuniemi ym. 2005].

3.1.1 SWAP

”Home RF Working Group” on ryhmä suuria tietokone- sekä langattoman teknologian yrityksiä, jotka loivat avoimen teollisuusmääritelmän langattomalle digitaaliselle kommunikoinnille yksityisten tietokoneiden sekä kuluttajien sähköisten laitteiden välille, joiden etäisyys on yleensä alle 30 metriä. Tämä ryhmä perusti SWAP-protokollan (Shared Wireless Access Protocol), jonka päämäärä on perustaa koti- tai toimistoverkosto, joka yhdistää tietokoneita antaen niille perustarvikkeet tiedostojen, tulostimien sekä muiden sähköisten laitteiden, kuten modeemien ja puhelimien jakamiseen. SWAP:ia voidaan käyttää lyhyen kantaman biomonitorointiyhteyksissä kotiympäristössä. SWAP on edullinen langaton verkosto kotiin, sairaalan osastolle, toimistoon sekä vastaaviin ympäristöihin [Budinger 2003].

3.1.2 Bluetooth (802.15.1)

Bluetooth on lyhyen kantaman langaton teknologia, jolla on melko samanlaiset tavoitteet kuin SWAP:illakin. Bluetoothin lähtökohta oli luoda kaapelit korvaava radiolinkki lyhyen kantaman tiedonvälitykseen kannettavien sekä kiinteästi sijoitettujen laitteiden välille. Bluetoothin kehittivät jäsenyhtiöt ”Bluetooth Special Interest Group”-ryhmästä, jota johtivat Ericsson, IBM, Intel sekä Nokia. Bluetooth-tekiikka perustuu pienitehoisiin, halpuihin radiolinkkeihin, jotka muodostavat, ilman käyttäjän vuorovaikutusta, langattomia ad hoc-yhteyksiä kannettavien sekä kiinteiden tietokoneiden (tai muiden Bluetooth-laitteiden) välille. Nämä kykenevät läpäisemään

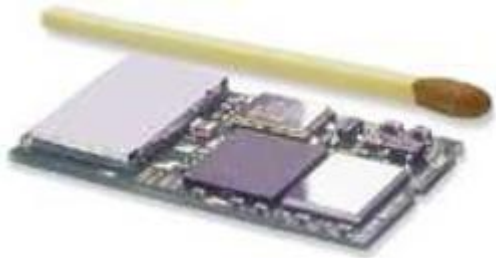
pieniä, päätepisteiden välisiä esteitä. Bluetoothin suunnittelussa tavoitteena oli luoda helppokäyttöinen, yhteensopiva ja globaalisti toimiva nopean tiedonsiirron teknologia. Teknologia perustuu pieneen mikropiiriin, joka on kooltaan n. $9 \times 9 \text{ mm}^2$ ja sisältää radiopiirit sekä protokolla-ohjelmiston. Bluetooth-piiri voidaan integroida suoraan esim. kannettavaan tietokoneeseen mikropiirille, asentaa tietokoneeseen lisäkorttina tai se voidaan kytkeä tietokoneen väylälle [Official Bluetooth 2007, Bluetooth 2007, Budinger 2003].

Kuten SWAP myös Bluetooth käyttää 2.45 GHz:z ISM-kaistaa. Kaista on varattu teollisuuden, tieteen sekä lääketieteen sovelluksille. Kaista on lisenssivapaa, mikä mahdollistaa Bluetoothin käytön maailmanlaajuisesti. Yhdysvalloissa, osassa Euroopassa sekä lukuisissa muissa maissa käytetään Bluetoothille taajuuskaistaa 2.4000-2.4835 GHz. Japanissa, Ranskassa ja Espanjassa käytetään puolestaan taajuuskaistaa 2.472-2.497 GHz. Taajuuskaista on jaettu 1 MHz:n levyisiin alakaistoihin. Maissa, joissa taajuuskaista on 80 MHz:ia leveä, on käytössä 79 alakaistaa. Muualla käytössä on 23 alakaistaa [Wang 2001].

Bluetooth-protokolla on yhdistelmä paketti- ja piirikytkennästä. Tiedonsiirrossa käytetään hajaspektriä, joka perustuu taajuushyppelyyn. Tiedonsiirtokanava on aikajakoinen. Yhden datapaketin siirtoaika on 625 μs , jonka jälkeen taajuus vaihtuu ja uuden paketin lähetys alkaa. Taajuudenvaihdon aikana hyppy jokaiselle 1 MHz:n alakaistalle on yhtä todennäköinen. Taajuus vaihtuu 1600 kertaa sekunnissa. Se estää tehokkaasti sisätiloissa esiintyvää hidasta huojusta, jonka Doppler-taajuus on 0.1-6 Hz:n välillä. Laaja taajuuskaista takaa tiedon siirtymisen kohinasta ja häiriöstä huolimatta. Myös elektroniset ovenavausmekanismit, langattomat puhelimet ja mikroaaltouunit toimivat samalla taajuuskaistalla [Wang 2001].

Bluetooth tulee korvaamaan valtaosan infrapunayhteyksistä tulevaisuudessa. Suurin etu infrapunayhteyteen verrattuna on se, ettei Bluetooth tarvitse optista kontaktia päätepisteiden välille. Bluetoothin symmetriset siirtonopeudet ovat 432,6 kbit/s ja asymmetrinen saapuva siirtonopeus on 57,6 kbit/s ja lähtevä siirtonopeus 721 kbit/s. Lähetystehosta riippuen Bluetoothin maksimaalinen siirtoetäisyys vaihtelee 10-100

metrin välillä. Bluetooth koostuu radio-osasta, radiolinkin hallintaosasta sekä yhteydenhallinnasta. Tietoturvan puolesta Bluetooth sopisi mainiosti sairaalaolosuhteisiin, sillä sen teknologia mahdollistaa yhteyslaitteiden autentikoinnin sekä siirrettävän tiedon kryptauksen [Bluetooth 2007, Budinger 2003].



Kuva 7. Bluetooth-piirisiru. Vertailun vuoksi kuvassa on tulitikku [Wang 2001].

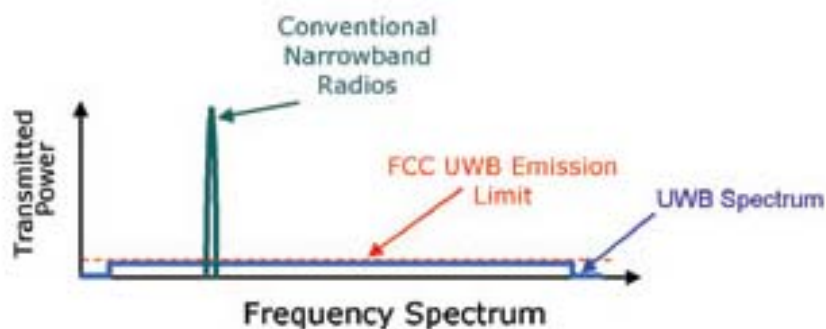
3.1.3 Ultra Wideband (UWB) (802.15.3a)

Ultra Wideband (UWB)-teknologia perustuu WiMedia standardiin. UWB pyrkii tehostamaan kodin ja toimistojen lyhyen kantaman langatonta tiedonsiirtoa tarjoamalla korkean tiedonsiirtonopeuden ilman suurta tehontarvetta. UWB:n tehontarve on pieni; hieman alle 200 mW. Suuren taajuuskaistanleveytensä ansiosta se kykenee kuitenkin suuren tiedonsiirtonopeuteen. UWB:llä pystytään siirtämään tietoa yli 100 megabittiä sekunnissa. Teknologia käyttää hyvin kapeita aikapulsseja alhaisilla toistonepeuksilla. Pulssit lähetetään ennaltamäärätyn koodin perusteella ja multippelikoodattuna järjestelmänä sitä voitaisiin käyttää kuten CDMA-matkapuhelinverkkoja. Sen kantoalue ulottuu kymmenistä satoihin metreihin. Koska tavallisten radiosignaalien näkökulmasta UWB-signaali näyttää lähestulkoon kohinalta, eivät radiot havaitse lähetyksiä, eivätkä kaksi edellämainittua näin ollen häiritse toisiaan. UWB toimii häiriöttömästi standardien 802.11 a/b/g ja 802.15 kanssa [Budinger 2003, General Atomics 2006, UWB Technology 2007].

UWB teknologiassa radiosignaali saapuu vastaanottimeen kahta tai useampaa reittiä, mikä parantaa signaalin häiriönsietokykyä. Hyvän häiriönsietokyvyn lisäksi UWB:n etuna on sen yksinkertainen elektronikka, ja UWB voisi teoriassa mahdollistaa

suurempienkin etäisyyksien tiedonsiirron minimaalisilla tehotarpeilla. UWB:n suuren tiedonsiirtokapasiteetin ansiosta sitä voitaisiin käyttää esim. EKG-datan siirtoon sairaalassa tai muissa henkilön terveydentilaa seuraavissa monitoreissa. Se onkin tällä hetkellä paras teknologia täysin langattomaan, korkean kapasiteetin tiedonsiirtoon lyhyillä etäisyyksillä [Budinger 2003, General Atomics 2006, UWB Technology 2007].

Ultra Wide Band-teknologian käyttöönotto on kuitenkin pitkään ollut rajoittunutta, kunnes vuonna 2003 Yhdysvalloissa FCC antoi luvan UWB:n lisensioimättömien toimintojen kehittämiseksi. Tätä edelsi noin viiden vuoden tutkimustyö, jossa pohdittiin, häiritsevätkö hallituksen GPS ja radioyhteystoiminnot toisiaan. FCC:n määritelmän mukaisesti laitteita tulee käyttää taajuuskaistalla 3,1 – 10,6 GHz. Hyväksyntä kattaa jopa lääketieteellisen kuvanmallinnusjärjestelmän, jonka avulla voidaan mallintaa tutkimuskohteena olevan henkilön tai eläimen sisäelinten toimintaa ja rakennetta. Toiminnan täytyy kuitenkin olla lisensoidun terveydenhoidon harjoittajan valvonnassa tai ohjauksessa. Toiset sovellukset, kuten lapsen hengityksen monitorointi, hyväksytään myös, kunhan ne tapahtuvat sisätiloissa. Tämä FCC-määräys mahdollistaa UWB:n käyttöönoton, mikä johtanee suuriin kehitysaskeliin biomonitoroinnin saralla; ei ainoastaan kotiin ja suuriin sairaalaympäristöihin, mutta myös mobiiliin sairasmaonitorointiin internetyhteyden avulla [Budinger 2003, General Atomics 2006, UWB Technology 2007].



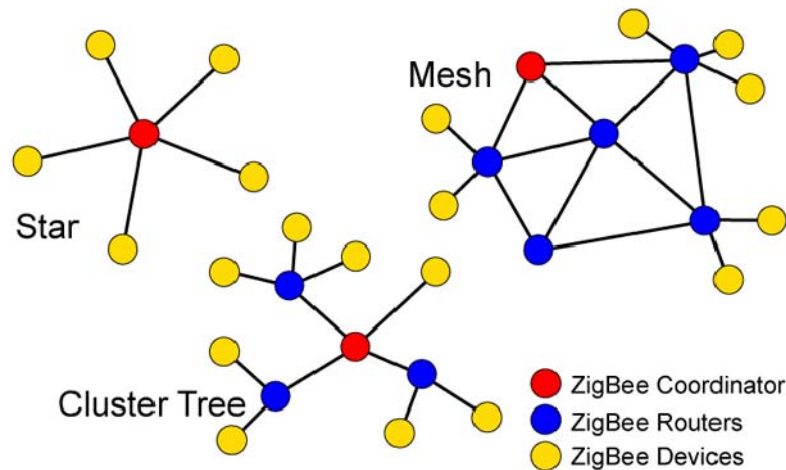
Kuva 8. UWB-kaista verrattuna perinteisiin radiotaajuuskaistoihin [General Atomics 2006].

UWB-piirejä ollaan toimitettu markkinoille vuoden 2006 lopusta lähtien. Standardin ensimmäiseksi sovelluskohteeksi on valittu PC-tietokoneet. Tutkimusyhtiö In-stat

arvioi, että UWB-teknologiaa hyödyntämällä päästään johdottomiin viihdelaitteisiin muutaman vuoden kuluttua. Heidän mukaansa UWB tulee uudistamaan langattomien PC-tietokoneiden ja muiden viihdelaitteiden tiedonsiirron tulevaisuudessa, sillä UWB on ensimmäinen teknologinen ratkaisu, joka tarjoaa riittävän nopean langattoman yhteyden vaativimpiinkin käyttötarkoituksiin. UWB:n markkinoille tulo alkaa In-statin mukaan USB-väylään liitettävistä lisälaitteista ja seuraavaksi siirryttäisiin verkkokortteihin ja emolevyyn integroituihin UWB-yhteyksiin. Matkapuhelimet tulevat heidän mukaansa vasta viimeisenä siirtymään UWB-teknologiaan. In-statin arvioiden perusteella vuonna 2010 tultaisiin myymään peräti 289 miljoonaa UWB-piirisarjaa [Kotilainen 2006].

3.1.4 ZigBee (802.15.4)

Monet suuret yritykset, kuten Intel, HP, Philips, Motorola ja Mitsubishi ovat liittäytyneet yhteen muodostaen ZigBee-allianssin. Allianssi vastaa ZigBee-standardin, 802.15.4, kehittämisestä. Tarkoituksena on ollut kehittää lyhyen kantaman langattoman kommunikaation standardi, joka on edullinen ja vähätehoinen. ZigBee-standardi valmistui syyskuussa, vuonna 2003. IEEE 802.15.4-standardi määrittelee laitetyypit FFD:n sekä RFD:n. FFD täyttää kaikki standardin vaatimat ominaisuudet ja RFD on tästä karsittu versio, joka vaatii kommunikointiparikseen aina FFD-laitteen. Lisäksi standardi määrittelee kaksi verkkotopologiaa: Tähtimäisen sekä vertais- (peer-to-peer) verkkotopologian. Tähtimäisessä verkkotopologiassa yksi keskuskoordinaattori ohjaa keskukseen liitettyjä ZigBee-laitteita yhdistäen ne toisiinsa tarpeen mukaan. Vertaisverkkotopologiassa verkkoon kytketyt ZigBee-laitteet toimivat reitittimien avulla: Reitittimet yhdistävät Zig-Bee-laitteet toisiinsa ZigBee-koordinaattorin ohjauksessa [ZigBee 2007, ZigBee Alliance 2007].



Kuva 9. ZigBee verkkotopologiat: Tähtimäinen (Star) ja verkko- sekä rypästyypiset vertaisverkkotopologiat [http://www.meshnetics.com/netcat_files/11_148.png].

ZigBee-laitteen hyötyjä ovat sen lyhyt verkkoonkytkeytymisaika (alle 30 ms), sleep-tilasta herääminen (alle 15ms) ja lähetyksen aloittamisaika (alle 15 ms). Ajat ovat huomattavasti lyhyemmät kuin esim. Bluetoothilla. ZigBeen taajuus on Euroopassa 868 MHz ja sen siirtonopeus on 20 kb/s. Euroopassa ZigBee kattaa vain yhden tiedonsiirtokanavan, kun esim. Yhdysvalloissa kanavia on kymmenen ja siirtonopeus 40 kb/s. Tiedonsiirtoon ZigBee käyttää CDMA/CA:ta, mikä tarkoittaa, että siirtotien käyttöä tarkkaillaan ja tietoa lähetetään vain siirtotien ollessa vapaana. ZigBee käyttää DSSS-kanavointimenetelmää [ZigBee 2007, ZigBee Alliance 2007].

ZigBee-tekniikkaa ei ole luotu haastamaan Bluetoothia langattoman tiedonsiirron markkinoilla, vaan pikemminkin tarjota edullinen ja yksinkertainen ratkaisu matalalla virrankulutuksella silloin, kun vaadittava tiedonsiirtomäärä ei ole aivan niin suuri kuin Bluetoothilla. Tekniikka sopii mainiosti lääketieteessä esim. ihon alle asennettaviin sensoreihin ja mittaussiruihin. Yhdysvalloissa ZigBee on jo kehittänyt sensorisovelluksia lääketieteeseen. Vaikka ZigBee onkin jo ajoissa standardoitu ja yhteensopiva eri valmistajien laitteiden kanssa, ZigBee on vielä toistaiseksi suunnitteluvaiheessa. Teknologia on tekemässä vahvasti tuloaan markkinoille, mutta muutamat tekniset ongelmat, kuten vaihteleva virrankulutus ja puutteet tietoturvas- sa vaivaavat vielä toistaiseksi ZigBeetä [ZigBee 2007, ZigBee Alliance 2007].

3.2 Keskipitkän kantaman langattomat verkot

3.2.1 WLAN/Wi-Fi

WLAN (Wireless Local Area Network) tarkoittaa langatonta lähiverkkoa ja sillä tarkoitetaan pääasiassa 802.11-standardia. Wi-Fi (Wireless Fidelity) on WLAN:in kaupallinen nimitys silloin kun WLAN on tarkoitettu ”suuren yleisön” internet-yhteyksiä varten. Wi-Fi:ä käytetään verkottamaan kotitalouksien kiinteitä internetyhteyksiä langattomasti, jotta vältetään asuntojen välisiltä kaapeloinneilta. Verkotuksen aikaansaamiseksi pöytätietokoneeseen tai salkkumikroon kytketään modeemi, johon kytketään langaton tukiasema. Lisäksi tarvitaan PCI-verkkokortti, PCMCIA-kortti tai USB-väylään kiinnitettävä lähetin/vastaanotin [Ala-Laurila ym. 2001].

Wi-Fi edustaa varsin dominoivaa standardia keskipitkien langattomien verkkojen saralla. Wi-Fi:n hinta on ollut selkeästi laskussa sen tiedonsiirtonopeuden vastaavasti kasvaessa. Lisäksi Wi-Fi:n ongelmana olleista standardointiongelmista on päästy jo pääsääntöisesti eroon. Langaton lähiverkko on nyt mahdollista saada aikaan pienellä integroidulla sirulla, joka sisältää tarvittavat radiotaajuuselementit, jonka tehonkulutus on pieni ja yhteensopivuus muiden 802.11 (a/b/g) – standardiosien kanssa on hyvä. Wi-Fi:llä päästään parhaimmillaan jopa gigabitti sekunnissa tiedonsiirtonopeuteen, mikä on nykynäkökulmasta katsottuna erittäin nopea [Ala-Laurila ym. 2001].

3.3 Pitkän kantaman langattomat verkot

3.3.1 WAP-pohjainen tiedonsiirto

Matkapuhelin on havaittu mahdolliseksi lääketieteen langattoman tiedonsiirron välineeksi siitä lähtien, kun se tuli markkinoille. Esimerkiksi jo vuonna 1996 Garner työtovereineen loi yhteyden PC:n ja GSM-modeemin välille. Yhteyttä hyväksikäyttäen lähetettiin simuloituja haavakuvia GSM:ltä PC:lle sähköpostin liitetiedostoina. Nykyään matkapuhelinta käytetään varsin yleisesti internetin selailuun ja voidaan sanoa, että nämä kaksi ovat jo sulautuneet yhteen. Langattomana protokollana näiden välillä toimii WAP [Hung, Zhang 2003].

Kevin Hung työtovereineen on testannut WAP-pohjaista langattoman tiedonsiirron järjestelmää lääketieteelliseen tarkoitukseen. Sen päämääränä on käyttää WAP-matkapuhelimia mobiiliyhteyksien päätepisteinä potilasinformaation vaihtoon sekä potilasmonitorointipalveluille. Tällä järjestelmällä esim. lääkärit voisivat tarkastella potilaiden monitoroitavia fysikaalisia parametreja WAP-laitteistoilla esitallennettuna (ei reaaliaikaisesti). Nykyinen ja etenkin edessäoleva maailman väestön ikääntyminen on tehnyt tällaisesta potilasmonitoroinnista houkuttelevan menetelmän, koska palvelut mahdollistaisivat aikaisten patologisten oireiden havaitsemisen ja diagnoosin vanhemmilla potilailla, jotka yleensä kärsivät kroonisista sairauksista. WAP-monitoroinnille keskeisiä suureita ovat EKG ja verenpaine, sillä sydäntaudit aiheuttivat esim. vuonna 1999 maailmanlaajuisesti 30 % kaikista kuolemista. Hungin WAP-järjestelmä käyttää hyväksi jo olemassaolevaa WAP:ia niin, että käyttäjä yksinkertaisesti rekisteröityy potilasdatapankin käyttäjäksi ja hakee kännykällään potilasinformaation WAP-internetyhteyttä käyttäen. EKG:n ja verenpaineen lisäksi käyttäjä voi hakea myös potilaan sairauskertomuksen, tietoa potilaan kliniikasta ja sairaalasta sekä tietoja lääkärin aikatauluista (tapaamiset ym.) [Hung, Zhang 2003].

WAP-järjestelmän käyttökustannukset ovat matalat ja liikkuvuus on hyvä, koska tietokonetta ei tarvita tiedonsiirtoon. Lisäksi WAP-matkapuhelimet ovat nykyisin hyvin edullisia ja yleisiä. Kuitenkin, verrattuna tietokoneeseen, johon on asennettu langaton modeemi, tyypillisessä WAP-puhelimissa on vielä tällä hetkellä varsin rajallinen prosessointiteho, muistikapasiteetti sekä näyttöresurssit. Reaaliaikainen langaton tiedonsiirto lääketieteessä ei ainakaan vielä ole mahdollista näiden rajoitusten vuoksi, mutta tilanne tulee todennäköisesti muuttumaan jo lähivuosina. Lisäksi WAP:in

käyttöönnotossa häilyy pelko sen tietoturvan kattamattomuudesta. WAP-pohjaisen järjestelmän turvallisuusominaisuudet on jaettu usealle tasolle. Pääosin WAP:in turvallisuudesta huolehtii WTLS-protokolla, joka siirtää tietoa vain puhelimen ja WAP-gateway:n välillä, eikä esimerkiksi puhelimen ja palvelimen välillä. Kuitenkin WAP-gateway pääsee käsittelemään kaikkea siirrettävää tietoa salakoodaamattomassa muodossa. Tästä syystä diskreettiä informaatiota käsitellessä olisi syytä rakentaa yksityinen WAP-gateway tiedonsiirtoa varten, jottei kukaan ulkopuolinen pääse tietoon käsiksi gateway:ltä käsin [Hung, Zhang 2003].

3.3.2 Cellular digital packet data (CDPD)

Cellular digital packet data (CDPD) on langaton datankommunikaatioprotokolla, joka käyttää olemassaolevaa matkapuhelinverkkoa mahdollistaen käyttäjän lähettää ja vastaanottaa tietoa koko puhelinverkon kantoalueella. CDPD on suunniteltu integroitavaksi mihin tahansa tietoverkkoon. CDPD sekä nykyinen matkapuhelimien ääniverkko ovat olennaisin osin kaksi erillistä verkkoa, jotka jakavat matkapuhelimien käyttämän ilmatilan. Matkapuhelimien äänikanavat ovat tilastollisesti katsoen käyttämättömiä vähintään 30 % ajasta, jopa voimakkaan ruuhkan aikana. CDPD käyttää tätä hukka-aikaa tehden matkapuhelinverkosta tehokkaamman, ollen samaan aikaan huomaamaton matkapuhelimen ääniverkolle. CDPD lähettää datapaketin niin monella avoimella kanavalla kuin vain on mahdollista. Lisädataa voi tulla toisella kanavalla, kun kanava vaan vapautuu. Saatu data voi tulla lähettäjän juuri käyttämää kanavaa pitkin tai jotain toista kanavaa pitkin pienissä paketeissa. Käyttäjäkohtainen IP-osoite (numerosarja, jonka perusteella IP-paketit löytävät perille Internetissä) yhdistää virtuaalisesti käyttäjän määrittelemättömän pituiseksi ajaksi isännälle häiritsemättä matkapuhelinyhteyksiä [Budinger 2003].

4 Sairaalavierailut

4.1 Aineisto ja menetelmät

Osana tätä tutkimustyötä koottiin tieto nykyisin sairaaloissa käytettävistä tehohoitopotilaiden valvontaan soveltuvista laitteista ja menetelmistä. Samalla haastateltiin sairaaloiden teho-osastojen henkilökuntaa, lähinnä sairaanhoitajia, jotka käytännössä vastaavat tehohoitopotilaiden välittömästä seurannasta, laitteiden kytkennästä potilaaseen ja niiden toiminnan valvonnasta sekä tietojen keräämisestä seurannan aikana. Haastatteluissa tarkoituksena oli täydentää tietoja potilasvalvonnan keskeisimmistä mitattavista suureista, niissä käytettyjen laitteiden teknisistä ominaisuuksista ja käyttökelpoisuudesta sekä kehittämistarpeista, joita potilasvalvontaan liittyy.

4.1.1 Sairaalat ja henkilöstö

Tutkimukseen valittiin neljä sairaalaa, joista kolme on julkisia ja yksi yksityinen sairaalapalvelujen tuottaja: Oulun yliopistollinen sairaala (OYS), Jorvin sairaala ja Helsingin yliopistollinen keskussairaala (HYKS) ovat sairaanhoitopiirien omistamia julkisia ja kunnallisia sairaaloita. Lääkärikeskus Mehiläisen sairaala Helsingissä on yksityinen terydenhuollon palvelujen tuottaja, yksityinen yritys. Lisäksi saatiin tietoa Oulun diakonissalaitokselta (ODL), jonne ei tehty vierailua mutta josta hoitohenkilöstö osallistui tähän tutkimukseen.

Tutkimuskohteina olivat edellä mainittujen sairaaloiden tehohoitoyksiköt, joiden toimintaan tutustuttiin tavanomaisten työpäivien ja toiminnan aikana. Osastojen henkilöstön työskentelytapoja, käytössä olevia laitteita ja menetelmiä sekä henkilöstön kehittämistarpeita koottiin sairaalakierrosten aikana. Tehohoito-osaston henkilökuntaa haastateltiin ja heitä pyydettiin täyttämään kyselylomake (liite 1).

Sairaalat	Haastatellut työntekijät (n)
-----------	------------------------------

OYS	1
HYKS	5
Jorvi	4
Mehiläinen	3
ODL Oulu	1
<hr/>	
Yhteensä	14

4.1.1.1 Tehohoitopotilaan kulku sairasosastolla

Kun potilas saapuu teho-osastolle, on hän pyörillä liikkuvassa potilasvuoteessa ja kytkettynä tippaletkuun sekä sydämen sykkeen ja verenpaineen ulkoiseen monitorointiin. Tajuton potilas on yleensä intuboitu, jolloin sairaankuljettajat avustavat hengitystä henkitorveen viedyn putken kautta. Sairaankuljettajat ovat asettaneet potilaan rintakehälle kolmeen kohtaan anturit, jotka rekisteröivät sydämen sykkeen ja näyttävät sydämkäyrän kannettavalla näytöllä. Verenpaine mitataan sairaankuljetuksen aikana mansetilla käsivarresta ja tulos kirjataan sairauskertomuslehdelle manuaalisesti.

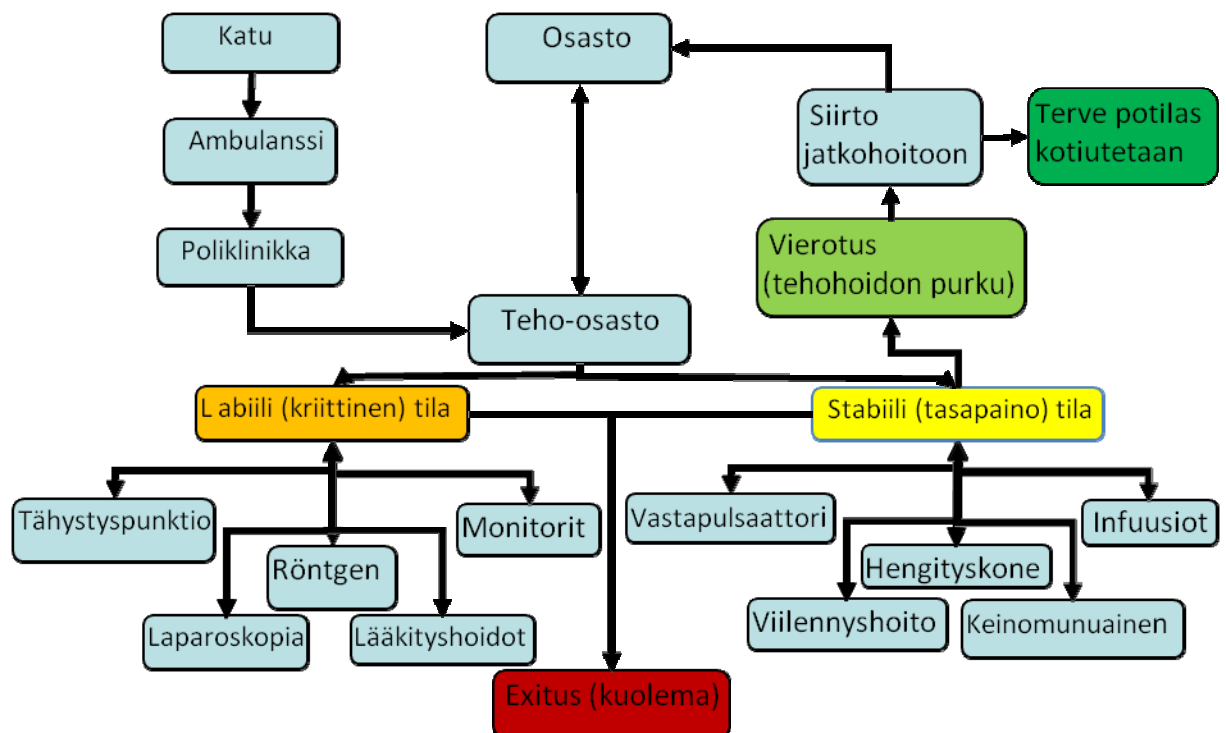
Kun potilas tuodaan sairaalan ensiapupoliklinikalle, hänen elintoimintojaan aletaan seurata sairaalan laitteistolla: sydänsykkeen monitoriksi vaihdetaan sairaalan EKG-laite, joka tästä eteenpäin seuraa potilasta potilasvuoteeseen kiinnitettynä esim. teho- tai tarkkailuosastolle.

Potilaan siirtyessä teho-osastolle sydämen toiminta ja verenpaine mitataan osaston laitteilla (yleismittarit). Usein potilas kytketään hengityskoneeseen (respiraattori), jolloin laitteen toimintaa ja potilaan hengittämistä sekä hapetusastetta voidaan seurata hengityslaitteeseen kytkettyjen antureiden avulla. Tajuttoman potilaan verenpaineen seuraamiseksi tämän valtimoon tai laskimoon asetetaan kanyyli ja anturi, joiden avulla

verenpaineen seuranta tapahtuu automaattisesti ja tulee näkyviin samalle näytölle kuin sydänfilmi ja veren hapettuminen.

Teho-osastolla potilas on kiinnitetty lukuisilla johdoilla, kanyyleilla ja letkuilla seuranta- ja hoitolaitteisiin. Mikäli potilas joudutaan kuljettamaan tutkimuksiin esim. röntgenosastolle, kuljetuksen takia potilas joudutaan kytkemään irti joistakin kiinteistä seuranta- ja hoitolaitteista. Potilaan irrottaminen tulee tapahtua potilaan tilaa vaarantamatta. Toisaalta siirtoon valmistautuminen vie pelkästään johtojen suuren määrän takia runsaasti aikaa.

Ohessa on vuokaavio josta käy ilmi teho-osastolle tulevan potilaan kulku. Vuokaavio on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Tehohoitopotilaan kulku sairaosastolla.

Sairastapauksen ilmetessä sairaalan ulkopuolella potilaalle annetaan välitön ensiapu (esim. tekohengitys), jonka jälkeen hänet kuljetetaan ambulanssilla poliklinikalle arvioitavaksi. Jos potilaan tila osoittautuu kriittiseksi, siirretään hänet teho-osastolle

hoitoja varten. Potilas voidaan siirtää teho-osastolle toipumaan leikkauksen jälkeen tai osastohoidosta, jos potilaan tila heikkenee merkittävästi.

Teho-osastopotilaan vointi luokitellaan yleisesti labiiliksi tai stabiiliksi. Labiili tila tarkoittaa kriittistä tilaa ja tavallisia toimenpiteitä labiilissa tilassa olevalle potilaalle ovat muun muassa röntgen, vatsaontelon tähystysleikkaus (laparoskopia), tähystyspunktio sekä erilaiset lääkityshoidot ja monitoroinnit. Mikäli potilaan tila vakiintuu, hänen tilansa luokitellaan stabiiliksi. Stabiilin tilan potilaalle keskeisiä toimenpiteitä ovat erilaiset infuusiot, hengityskone, viilennyshoito, keinomunuainen sekä vastapulsaattori. Tehohoitopotilaan fyysiselle kunnolle on tyypillistä ailahtelut stabiilin ja labiilin tilan välillä.

Ennen kuin potilas voidaan siirtää pois teho-osastohoidosta, pidetään häntä ns. ”vieroitushoidossa”. Tämän toimenpiteen tarkoituksena on sopeuttaa potilas elämään ilman tehohoidossa käytettyjä keinotekoisia elintoimintoja, kuten esim. hengityskonetta. Kun potilas on läpikäynyt vieroitushoidon, odottaa häntä yleensä siirto jatkohoitoon. Joissain tapauksissa tosin ilmenee komplikaatioita ja potilas voi menehtyä vieroitusoireisiin.

4.1.2.1 Oulun yliopistollinen sairaala OYS – WILHO (Langaton sairaala)

Oulun yliopistollinen sairaala Oulussa on 1970-luvulla rakennettu ja toimintansa aloittanut yliopistokeskussairaala, jossa työskentelee noin 4000 henkilöä, joista 450 on lääkäreitä ja 2200 hoitajia. Sairaala on toteuttamassa osana TEKES:in Finnwell-ohjelmaa langattomaan sairaalaan tähtäävää kehittämishanketta (WILHO).

WILHO (Wireless Technology in Hospital Operation Management) on Oulun yliopistollisen sairaalan (OYS), Oulun diakonissalaitoksen (ODL) sekä leikkaus- ja tehohoidon tulosityksikön (LeTe) pilotoima hanke langattoman sairaalan kehittämiseksi. Myös muualla Suomen terveydenhuoltojärjestelmässä on käynnissä vastaavankaltaisia hankkeita, esimerkiksi Peijaksen sairaalahanke terveydenhuollon prosessien

uudistamiseksi ja tehostamiseksi. Langattoman sairaalan kehittämishankkeet eivät rajoitu ainoastaan suomen terveydenhuoltoon. Esimerkiksi Yhdysvallat panostaa tällä hetkellä voimakkaimmin langattoman lähiverkkoteknologian (WLAN) kehittämiseen ja he ovatkin tällä hetkellä kehityksen kärjessä. Euroopassa Britannia puolestaan panostaa terveydenhuollon IT-teknologian kehittämiseen sekä tietojärjestelmien yhdenmukaistamiseen. Viimeiseksi mainittu tulee olemaan merkittävä tulevaisuuden kehityskohde, sillä tällä hetkellä terveydenhuoltoa kehittävät yritykset pyrkivät käyttämään omia rajapintojaan ja näin ollen kansainvälistä standardia yhtenäiselle rajapinnalle ei olla saatu aikaan.

OYS:n langattoman sairaalan konseptia sairaalavierailun aikana esitteli hallintoylilääkäri Kari Haukipuro. WILHO-hankkeen lähtökohtana on ollut kehittää ja ottaa käyttöön langaton tiedonsiirto, langaton paikannus sekä langatonta anturitekniologiaa. Tavoitteena on ollut ennen kaikkea sairaalan toimintaprosessien parantaminen, toiminnan tehostaminen ja teknologian soveltaminen sairaalaprosesseihin. WILHO-hankkeen tavoite on myös, että sairaalaprosessiin liittyvä tiedonsiirto voidaan suorittaa ilman kaapeleita niiltä osin kuin se vaan on käytännöllistä. Sairaalaympäristön täydellinen langattomuus ei ole hankkeen päämäärä, vaan langattomuutta hyödynnetään vain, kun se merkittävästi helpottaa työskentelyä potilaiden kanssa. Kari Haukipuro painotti, että WILHO ottaa vastaan runsaasti uusia ideoita ja innovaatioita testaten ne ja päätyy käyttämään järkevimmiksi havaittuja ratkaisuja.

Hankkeen päämääränä on saada aikaan kattava langaton järjestelmä, johon sairaala voi omilla järjestelmillään liittyä. Tällä hetkellä mahdollisina vaihtoehtoina nähdään lähinnä PDA- sekä Nokia- ("Nokia taskunetti") matkapuhelinpohjaiset käyttöliittymät. Järjestelmään tallennetaan potilaan henkilö-, paikka-, aika- sekä mittaustiedot. Tarkoituksena on myös, että järjestelmään voitaisiin kytkeä myös muita langattomuuteen sekä paikannukseen liittyviä sovelluksia.

Langaton tiedonsiirto ei tulisi syrjäyttämään sairaalassa jo käytössä olevaa perinteistä LAN-verkkoa, vaan järjestelmät toimisivat sairaalassa rinnakkain. Langatonta

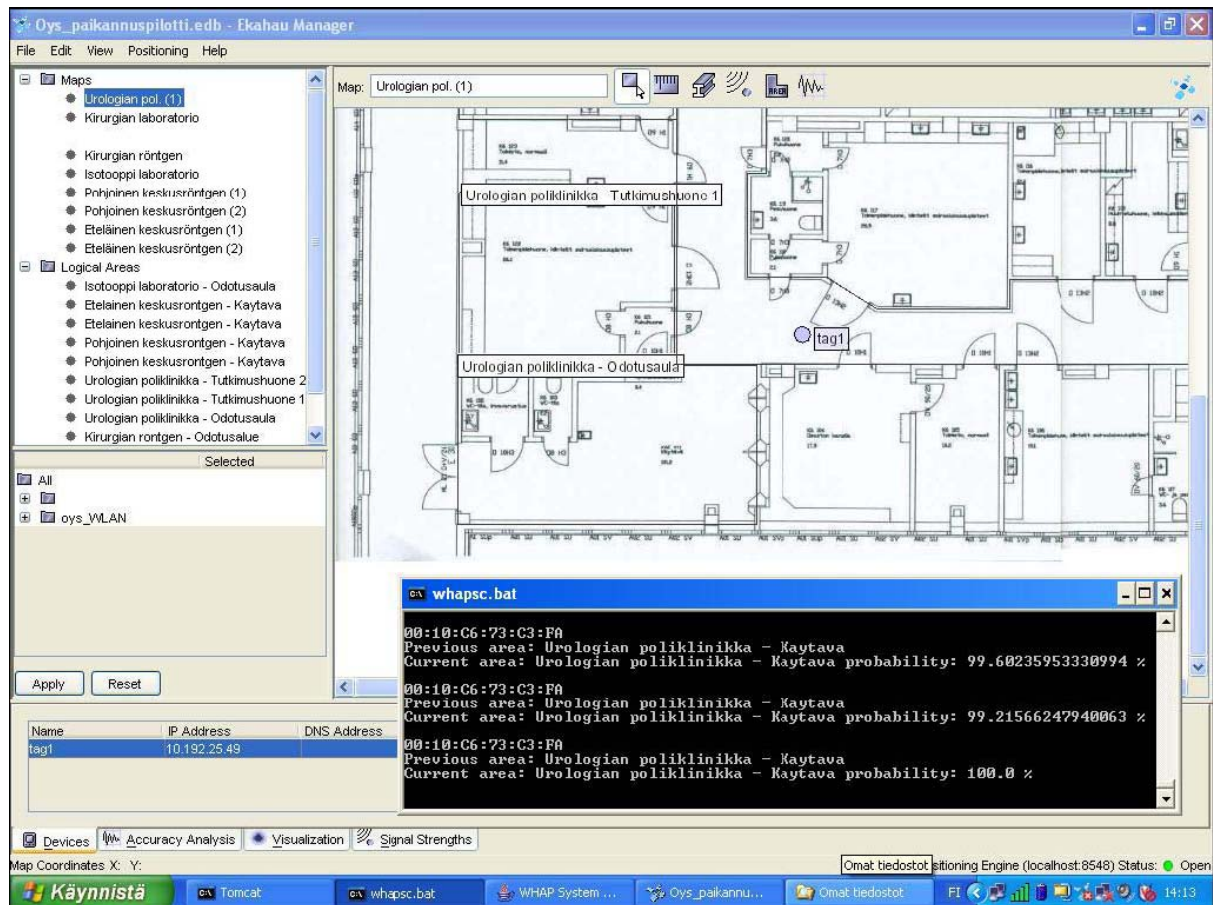
tiedonsiirtoa edellyttävät laitteet kytkettäisiin WLAN-tukiasemiin, jotka yhdistäisivät laitteet LAN-verkkoon. Samanlaista menettelyä noudatettaisiin myös (tällä hetkellä vielä testausvaiheessa oleville) UWB-laitteille yhdistämällä ne LAN:iin UWB-tukiasemien avulla.

WILHO kehittää parhaillaan sekä RFID- (Radio Frequency Identification) että WLAN-pohjaista sairaalaympäristön paikannussovellusta. Tarkoituksena on vähentää inhimillisten erehdysten aiheuttamia riskejä ja säästää potilaiden ja henkilökunnan etsintään kuluva aikaa ja vähentää turhia puhelisoittoja sairaalan sisällä. Paikannusjärjestelmän käytön uskotaan myös parantavan potilashoidon laatua.

WLAN-pohjainen paikannussovellus vaatii tukiasemat sekä lähettimet päätelaitteisiin ja lisäksi se vaatii paikannusohjelmiston, jonka avulla voidaan hakea paikkatiedot mistä tahansa WLAN-verkosta ja etsiä mitä tahansa WLAN-päätelaitetta. Sovelluksen avulla päästään jopa 1 metrin paikannustarkkuuteen. Haittana on tosin laitteiston korkea hinta verrattuna RFID:hen.

RFID-pohjaisessa paikannussovelluksessa kohteeseen kiinnitetään tunnistus, joka sisältää informaatiota kohteesta. RFID-tunnistusta voidaan verrata viivakooditunnistukseen sillä erolla, että RFID ei vaadi optista yhteyttä tunnistukseen. Lisäksi RFID-tunnisteen sisältöä voi muuttaa käytön aikana, toisin kuin viivakoodia. RFID-tunnistinanturia voidaan lukea esim. käyttämällä matkapuhelinta, jossa on lukulaite muutaman senttimetrin etäisyydellä tunnistimesta. RFID toimisi sairaalaympäristössä esimerkiksi niin, että lääkäri tai sairaanhoitaja voisi päivittää potilaan tiedot kierroksella viemällä matkapuhelimensa potilassänkyyn kiinnitettävän RFID-tunnisteen lähelle. RFID-menetelmä on huomattavasti edullisempi kuin WLAN-pohjainen tunnistus ja saavuttaneekin siten hienoisen etulyöntiaseman menetelmiä verratessa. Haittana menetelmässä on tosin sairaalaympäristössä vaadittavien RFID-tunnistimien suuri määrä.

Potilaspaikannuksessa käytettävää tunnistetta voidaan myös käyttää sairaalan henkilökunnan turvallisuuden parantamiseen. OYS koekäyttää WLAN-pohjaista tunnistusta urologian osaston henkilökunnalla.



Kuva 11. WLAN-pohjainen potilaantunnistusjärjestelmä (pilottiversio).

OYS:ssä on tällä hetkellä käytössä OYS:n ja Oulun yliopiston kehittämä ESKO-niminen sähköinen potilaskertomus, jota esim. sairaanhoitajat käyttävät kirjatessaan ylös tietoja potilaista. ESKO on web-pohjainen selainkäyttöliittymä (ollut käytössä vuodesta 1997), joka on perusta OYS:n uusille langattomille sovelluksille. Ohjelmaan on integroitu lukuisia sovelluksia, kuten SOFIE-hoitosuunnitelma-osio sekä lukuisia muita sovelluksia nopeuttamaan ja helpottamaan sairaanhoitajien ja lääkärin päivittäistä tiedonkeruuta. Myös edellämainittua langatonta WLAN-/RFID-potilaantunnistusjärjestelmää integroidaan parhaillaan ESKO:on. Vaikka tällä hetkellä ESKO:a vielä käytetään lähinnä kannettavista salkkumikroista tai pöytätietokoneista käsin, ollaan siirtymässä joko PDA- tai Nokia-matkapuhelinpohjaiseen ESKO-

käyttöliittymään. Web-pohjainen ESKO olisi näin ollen lääkärin tai hoitajan taskussa, josta kliininen data (mm. lämpö, pulssi, verenpaine, lääkitys) voidaan syöttää nopeasti tasku-PC:seen. Näin voidaan reaaliajassa suorittaa raportointi suoraan potilaan vuoteelta niin, että yksinkertainen, mutta pakollinen tieto saadaan rekisteröityä. ESKO:n potilastaulu päivittyy sitä mukaa kun potilas tulee alueelle, jossa hänelle tehdään joko tutkimus tai toimenpide. Ratkaisun käyttöönottoa ovat kuitenkin viivästäneet ongelmat verkkosalauksen kanssa. Elektronisen sairauskertomuksen lisäksi OYS:ssä on ollut mahdollista suorittaa myös läheteet sekä epikriisit elektronisesti (E-lähete, E-epikriisi). Tällä hetkellä sairaalan läheteistä n. 38 % suoritetaan elektronisesti.

Tila	Henkilötunnus	Nimi	Paikka	Tulopvm	Vastuulääkäri	Vastuuhoitaja	Huom.
!	020202-0202	JOULUPUKIN HUORI	/	16.02.06			MRSAt
!	030303-0303	PUKINTONTTU KOLMAS	/	16.02.06			
!	010101-0101	JOULUPUKKI VANHA UKK	/	16.02.06	trt	we434	
	010140-APU1	TESTIHENKILÖ MRSA M	01/02	17.05.04	tohtori	Hoitaja	MRSAt
	030303-LLL2	MÖRKÖ	04/05	18.12.02			
	040426-AAA1	TESTIHENKILÖ HEIKKI	01/01	17.05.04			MRSAt
	160666-666N	SOFIE TESTI TUULI	/	17.09.03			
	040404-0404	MYLLYTONTTU	09/09	15.06.05			
	010178-TTT2	IRENE IPANA-TESTI	06/01	11.01.06			
	020283-UUU2	MAIJA IPANA-TESTI2	06/02	11.01.06			
	010101-888B	HERPA TESTI	/	16.02.06			

Kuva 12. ESKO:n käyttöliittymä.

4.1.2.2 Meilahden sairaalan teho-osasto, HYKS

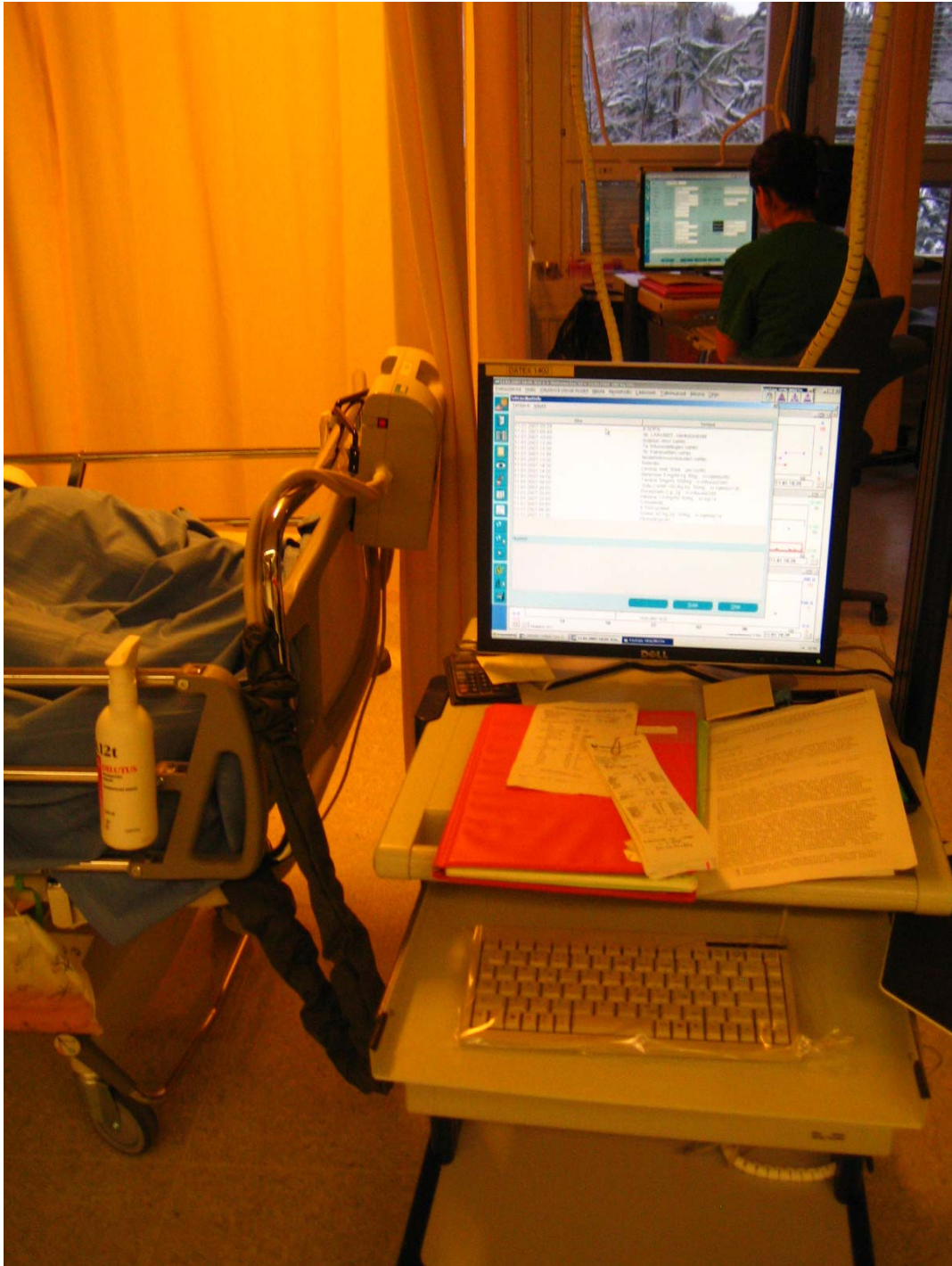
Meilahden sairaala on valmistunut vuonna 1965. Meilahden sairaala on suurin HUS-kuntayhtymän sairaala (Helsingin ja Uudenmaan sairaanhoitopiiri). Sairaala työllistää noin 1400 hoitajaa, 400 lääkäriä ja lisäksi useita muita sairaala-alan ammattilaista. Yhteensä henkilökuntaa on noin 3500. Meilahden sairaala koostuu 31 osastosta ja kymmenestä poliklinikasta, joissa tapahtuu vuosittain lähes 150 000 potilaskäyntiä.

Sairaalassa suoritetaan vuosittain n. 8000 leikkausta ja sairauspaikkoja sairaalassa on 538. Sairaalassa on useita teho-osastoja, joista yksi huolehtii ensiapupoliklinikan jatkohoitoa tarvitsevista tehohoitopotilaista. Meilahden sairaalan tehohoidossa olevien potilaiden seurannassa jokaisella potilaalla on hoitaja, joka päivystää tämän lähettyvillä ympäri vuorokauden. Hoitaja valvoo potilaan tilaa ja kirjaa ylös keskeisimmät elintoimintoja kuvaavat suureet. Lisäksi osastolla päivystää lääkäri ympäri vuorokauden.

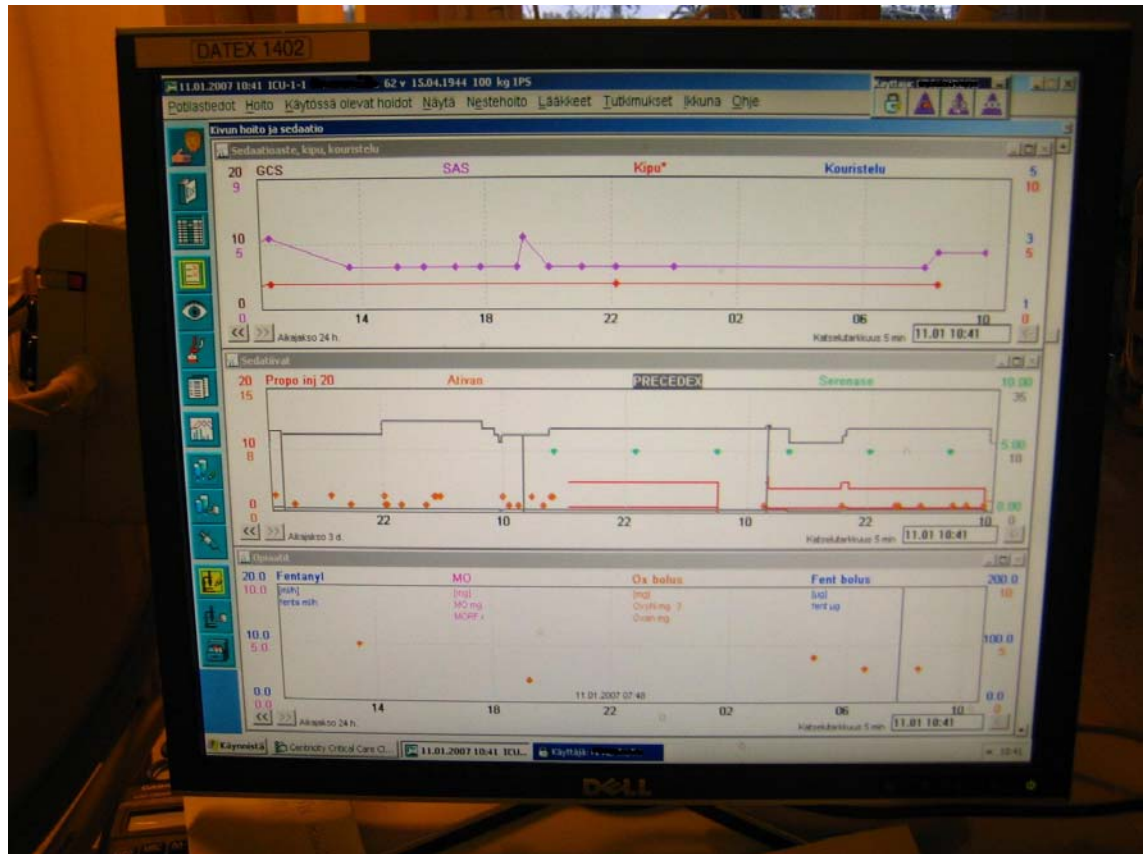
Meilahden tehohoito-osastojen henkilöstön määrä on n. 90-100 työntekijää. Osasto on Suomen suurimpia ja tehohoitoon osallistuvat eri alojen erikoislääkärit, erikoistuvat lääkärit, sairaanhoitajat sekä runsaasti muuta sairaalahenkilökuntaa. Teho-osasto on anestesiologijohtoinen, 8-paikkainen raskaan tehohoidon osasto, jossa annetaan mm. vaativaa hengityksen ja verenkierron tukihoitoa suuren leikkauksen johdosta. Osasto toimii kolmessa vuorossa. Meilahden teho-osaston potilasvalvonnan valmiuksiin tutustuttiin osastokäynnillä, jossa kirjoittaja seurasi potilaan tutkimusta ja hoitoa työvuorojen aikana.

4.1.2.3 Jorvin sairaalan teho-osasto

Jorvin sairaala perustettiin toimimaan Espoon alueen sairaalana, mutta kun Uudenmaan sairaanhoitopiirejä yhdistettiin suuremmaksi kokonaisuudeksi, Jorvin sairaala vastaanottaakin nyt potilaita myös pidemmiltä etäisyyksiltä. Jorvin teho-osasto on nk. ”sekateho-osasto”, mikä tarkoittaa että teho-osastolle saapuu potilaita toisistaan poikkeavista olosuhteista. Teho-osasto esimerkiksi ottaa vastaan tapaturmapotilaita, leikkauksesta toipuvia potilaita sekä vuodelevossa komplikaatioita saaneita potilaita. Jorvin teho-osastolla käytettävä teknologia on hieman keskitasoa parempaa. Esimerkiksi yleismittarilla mitattavat suureet sekä infuusiopumppujen volyymit kirjautuvat automaattisesti potilassängyn päädyssä oleviin tietokoneisiin (kuva 13). Loput tiedot kirjataan sähköiseen sairauskertomukseen käsin.



Kuva 13) Potilassängyn päähän kytketty päätelaite, johon kirjautuu automaattisesti ylös yleismittarin mittaamat potilastiedot sekä infuusiopumppujen lukuarvot.



Kuva 14. Päätelaitteen mittaamat potilastiedot.

Teho-osaston vaihtelevan potilaskannan vuoksi Jorvissa on ylläpidettävä erittäin tehokas valmiustila kriittisessä kunnossa saapuvien potilaiden hoitamiseksi.

Hoitohenkilökunnan määrä (35 hoitajaa ja 7 lääkäriä) on suurehko ja huonekoot ovat suuret. Teho-osastolla potilaat ovat eristyskamarissa (yhden hengen huone) ja infarktipotilaille tarkoitettua kahden hengen huonetta lukuunottamatta avotilassa kaksi potilasta rinnakkain (noin 9-10 m²/potilas). Päivittäin osastolla toimii kaksi anestesiaerikoislääkäriä ja yksi sairaalalääkäri perehtymässä tehohoitoon.

Sairaalan henkilökunnan mielestä sairaanhoitajien määrä on tällä hetkellä niin pieni, että sitä ei voi vähentää toiminnan siitä oleellisesti kärsimättä. Vaikka tekniikka ja laitteistot tulevatkin jatkossa kehittymään, ei pidetty todennäköisenä että sairaanhoitajien lukumäärä nykyisestä vähenisi.

Sairaanhoitajien tehtävään kuuluu paljon muutakin kuin hoitotoimenpiteitä ja potilaan mittaustietojen kirjaamista, joka voidaan tulevaisuudessa suorittaa laitteiston avulla automaattisesti. Sairaanhoitajat toimivat ennen kaikkea potilaan sosiaalisena kumppanina. He keskustelevat potilaan kanssa, kuuntelevat, mitä potilaalla on sanottavaa ja tarvittaessa lohduttavat potilasta. Sairaanhoitajat toimivat potilaan ylimääräisenä ”kätenä”: He noutavat potilaille heidän tarvitsemansa esineet, tarvikkeet ym. ja suorittavat potilaalle tarvittavat toimenpiteet, kuten avustavat vessassa käynnissä ja muissa potilaiden päivittäisissä arkirutiineissa, joihin potilaat eivät tilansa vuoksi kykene. Lisäksi sairaanhoitajien toimenkuvaan kuuluva teho-osaston tarkkailu tavallisesta poikkeavien tapahtumien varalta (äkilliset äännähdykset, kolahdukset ym.) on ensiarvoisen tärkeä osa potilaasta huolehtimisesta. Tästä syystä potilashoidon nykyistä läpikotaisempi automatisoiminen nähdään kaksipiippuisena ratkaisuna: Automatisointi toki auttaa sairaalahenkilökuntaa päivittäisten askareiden suorittamisessa, mutta henkilökunnan vähennykseen sen ei nähdä tarjoavan ratkaisua.

4.1.2.4 Mehiläisen sairaalan teho-osasto

Lääkärikeskus Mehiläisen sairaala on yksityinen sairaala, joka sijaitsee Helsingissä (Runeberginkatu 46). Mehiläisen sairaala on toiminut vuodesta 1909 alkaen ja sen leikkaustoiminta toteutuu pienkirurgisista toimenpiteistä avosydänleikkauksiin. Mehiläisen teho-osasto ottaa vastaan oman sairaalan leikkaussaleista potilaita, jotka siirtyvät teho-osastolle suoraan leikkaussalista (ilman heräämövalvontaa). Teho-osaston koko on noin 150 m² ja siinä voidaan kerralla seurata noin 15 potilasta. Sairaala Mehiläisen potilaat poikkeavat muiden tutkimuksessa olevien sairaaloiden potilaista, sillä he saapuvat sairaalaan lähinnä toipumaan leikkauksesta. Tapaturmapotilaita ym. ”odottamattomia” potilaita Mehiläiseen ei tavallisesti saavu. Osin tästä syystä johtuen muihin tutkimuksen kohteena oleviin sairaaloihin verrattuna Mehiläisen sairaalan teho-osaston varustelutaso on astetta kevyempi. Esimerkiksi sairaalassa ei ole sähköistä sairauskertomusta.



Kuva 15. Mehiläisen sairaalassa on käytössä ”vanhanaikainen”, tunnin välein paperille kirjattava sairauskertomus.

4.1.3 Kyselyt ja haastattelut

Jotta saataisiin tietoa tehohoitopotilaan seurannasta, hoitokäytännöistä, laitteista ja menetelmistä, toteutettiin neljässä sairaalassa kysely- ja haastattelututkimus (Liite 1). Tutkimus suoritettiin tehohoito-osaston sairaanhoitohenkilöstölle, joiden tehtävänä

sairaalassa on tehohoitopotilaan ("bed-side") valvonta. Kyselyssä pyydettiin hoitohenkilökuntaa luettelemaan omien potilaittensa potilasseurannan keskeisimmät tapahtumat ja seurannassa käytettävä laitteisto. Samalla pyydettiin kertomaan, miten tiedot osastolla rekisteröitiin. Lopuksi pyydettiin luettelemaan kehittämis ehdotuksia potilasvalvontaan.

Tutkimuksessa haastateltiin myös tehohoitoon osallistuvia sairaanhoitajia ja lääkäreitä sekä langattoman sairaalan projektissa (WILHO, OYS) mukana olevia tutkijoita. Haastattelussa täsmennettiin kyselyssä esiin tulleita asioita sekä tarkennettiin potilasvalvonnan laitekantaa, henkilöstöä ja ympäristöä koskevia tekijöitä.

4.1.4 Laitekannan katselmukset

Tässä tutkimuksessa koottiin tieto kunkin sairaalan teho-osaston käyttämistä laitteista. Laitekanta saatiin selville sairaaloiden tutustumiskäyntien ja henkilökunnan haastattelujen yhteydessä. Yleensä osastojen henkilökunnalla oli hallussa lista laitteistoista, niiden merkeistä, tyyppinmeroista ja maahantuoista. Laitekanta valokuvattiin.

4.1.4.1. EKG-monitorointi

Elintoiminnoista kaikilta tehohoidossa olevilta potilailta seurataan sydämen toimintaa (EKG), johon yleisimmin käytetään yleismittareita, joilla samalla voidaan rekisteröidä muitakin elintoimintoja (esim. hengitys, happisaturaatio). Kuvassa 16 on yhdessä sairaaloista käytetty yleismittari (Datex Ohmeda). Potilas on kytketty sydämen toiminnan eli EKG:n seurannassa laitteeseen johdoilla. Tiedossamme ei ole yhtään kaupallista "langatonta" laitetta, joka tällä hetkellä jo olisi rutiinikäytössä Suomen sairaaloiden teho-osastoilla potilaiden sydänvalvonnassa. Potilas on kiinnitetty ko. yleismittariin kolmen pisteen rintakytkennällä. Laitteeseen tulee sydänseurannassa yksi johto joka yhdistää kolme rintakytkentäjohtoa.

Sydämen toiminnan seuranta on keskeisin tehohoitopotilaan seurattavista suureista, Laite on kytketty johdolla kiinni potilaaseen ja sijaitsee potilasvuoteen välittömässä läheisyydessä, jotta hoitohenkilöstö voi välittömästi seurata sydämen toiminnassa tapahtuvia muutoksia esim. lääkitystä annettaessa tai hoitotoimenpiteitä suoritettaessa. Laite seuraa aina potilasta siirrettäessä ja sitä ei irroiteta siirtojen aikana potilaasta.

4.1.4.2. Verenpaineen seuranta

Sairaaloissa oli käytössä yleismittari, jonka avulla seurattiin tehohoitopotilaan sydämen toimintaa ja verenpainetta. Ulkoinen verenpaineen mittausta (vrt. invasiiviset verenpaineen mittaukset suonon sisäisesti) toteutuu sairaaloissa yleensä perinteisillä verenpaineen mittalaitteilla raajoista mansetilla verenpaine mitaten. Potilasta valvova hoitaja käy mittaamassa verenpaineen potilaan käsivarresta joko ns. elohopeamittarilla tai sähköisesti toimivalla digitaalisella mittarilla (esim. Omron-valmistajan mittari) ja kirjaa tuloksen potilaan seurantakansioon, sähköiseen rekisteriin tai potilasvuoteen yhteydessä olevaan päätelaitteeseen.

Tehohoidossa olevan potilaan "sentraalinen" ja invasiivinen verenpaineen mittausta tapahtuu siten, että potilaan verisuoniin viedyn kanyylin ja antureiden keräämä tieto siirtyy johtoja pitkin yleismittariin. Tulos on nähtävissä aina yleismittarin näytöllä ja yleensä se tallennetaan suoraan sähköiseen potilaskertomukseen. Tämän tutkimuksen sairaalakohteissa Mehiläistä lukuun ottamatta tieto tallentui kaikissa automaattisesti sähköiseen arkistoon. Laite sijaitsee potilasvuoteen välittömässä läheisyydessä johdoilla kytkettynä potilaaseen. Potilasta siirrettäessä pois teho-osastolta ko. laite seuraa vuoteen mukana.



Kuva 16. Datex Ohmeda yleismittari (valmistaja GE Healthcare Finland). Mittaa EKG:n, verenpaineet sekä CVP-katetrin.

4.1.4.3. Hengityksen monitorointi

Tutkimuksen sairaalakohteissa seurattiin tehohoidon potilaiden hengitystoimintaa Avea Viasys-hengityskoneella. Hengityksen monitorointi tapahtui siten, että (tajuton) tehohoitopotilas oli kytketty hengityslaitteeseen (respiraattoriin), joka toimii myös hengityksen monitoroinnissa. Kuvassa 17 on Avea Viasys laite, joka on liitetty hengityskoneeseen ja sen näytöllä näkyy potilaan hengityksen kulku, hengitystiheys ja hengityskaasujen mittaustuloksia. Potilaasta lähtee johto monitorilaitteeseen, joka sijaitsee potilasvuoteen välittömässä läheisyydessä. Potilassiirtojen aikana tätä laitetta voidaan kuljettaa potilaan mukana (esim. leikkauksiin ja röntgenkuvauksiin).



Kuva 17. Avea Viasys – hengityskoneen näyttö.

4.1.4.4. Hapetusaste

Tehohoitopotilaan veren hapettumista seurataan suoraan osoittavalla menetelmällä, jossa veren happiosapaine (p_{aO_2}) määritetään. Hapetusanturi on kiinni potilaassa joko ihon pinnalla olevalla kiinnityksellä (esim. sormeen kiinnitetty anturi) tai anturi viedään sentraaliseen valtimoon suonen sisäisen katetrin kautta. Anturi lähettää tiedon laitteeseen, joka sijaitsee vuoteen välittömässä läheisyydessä. Tulos voidaan nähdä reaaliaikaisesti laitteen näytöllä. Sairaalakatselmuksessa hapetusanturia seurattiin pulssioksimetrillä.

4.1.4.5. Infuusiolaitteet

Sairaalakatselmuksessa tuli esiin havainto, että käytännössä kaikki tehohoitopotilaat olivat lääkkeiden ja nesteytyksen takia kytkettyinä infuusiolietkujen avulla

infuusiopumppuihin ja monitoreihin. Kuvassa 18-20 on erilaisia nesteytyspumppuja. Käytettävien lääkkeiden määrä ohjelmoidaan potilaskohtaisesti (manuaalisesti) potilaan tilasta riippuen. Annettujen lääkkeiden määrää seurataan näytöiltä kirjaamalla määrät käsin potilaskertomuksiin (sähköiset tai paperiset sairauskertomukset). Potilasta siirrettäessä nesteytysletkut kulkevat mukana ja vain välttämättömät pumput seuraavat potilasvuodetta.



Kuva 18. Infuusiopumput.



Kuva 19. Ivac-infuusiopumppuja. Niitä käytetään tiputuksessa (2 kpl) (Model 98 / Oriola).



Kuva 20. Braun Perfusor Compact lääkeinfuusiopumput (3 kpl).

4.2 Tulokset

Sairaanhoitajat vastasivat kukin haastattelulomakkeeseen, jonka vastauksien perusteella koottiin kyseiset taulukot (2-7)

Taulukko 2.

Sairaalahenkilöstön (14 tehohoito-osaston hoitajaa) luettelemat keskeisimmät leikkauksen jälkeisen ja tehohoitopotilaan valvonnan edellyttämät elintoiminnot:

Mitattava elintoiminto	
-Happisaturaatio	-Sekoittunut laskimosaturaatio
-Hengitystiheys	-Kaasujen vaihto (sekoittuminen, ETCO ₂)
-Verenpaine	-Rytmi
-Pulssi	-Hapetus
-EKG	-Eritys (diureesi)
-Kipu	-Ventilaatio
-Lämpötila	-EEG (Neurologiset potilaat)
-Liike (joissain tapauksissa)	-Sydämen minuuttitilavuus (CI)
-Keskuslaskimopaine	-Keuhkovaltimopaine
-Hermodynamiikka	

Taulukko 3.

Hoitohenkilöstön käytössä olevat laitteet tehohoitopotilaan valvonnassa

Laite
-Datex Ohmeda-Perusvalvontamonitorit (yleismittarit)
-HP:n monitorit

- Ventilaattorit (Dräger)
- Nesteet (Braunin ”infuusiotorit”)
- AS3-monitori
- Potilastietojärjestelmä
- Laboratoriotietojärjestelmä
- Röntgenkuvat: PACS-järjestelmä
- Spirometria
- Hengityskäyrämonitori (respiraattoriin liitettävä näyttö)
- Happisaturaatio
- Koekäytetty patjan alle asennettavaa lisäpatjaa (mittasi hengitystä, pulssia ja liikettä)

Taulukko 4.

Sairaalahenkilökunnan ilmoittama potilastiedon mittaaminen ja kirjaaminen eri sairaaloissa

Sairaala	Kuka mittaa ja kirjaa?	Onko elektronista potilastietojärjestelmää?
HYKS	Hoitaja ja atk-tietojärjestelmä (*)	On
OYS	Hoitaja ja atk-tietojärjestelmä (*)	On
Jorvi	Hoitaja ja atk-tietojärjestelmä	On
ODL (heräämöhöhoito)	Hoitaja	Ei
Mehiläinen	Hoitaja (*)	Ei

*) Jokaisella tehohoitopotilaalla on oma ”lähihoitajansa”, joka käytännössä pysyy potilaan vieressä

Taulukko 5.

Hoitohenkilökunnan kirjaamiskäytännöt eri sairaaloissa

HYKS
<ul style="list-style-type: none"> -Sairaanhoitaja kirjaa ylös potilastiedot, kuten invasiiviset paineet ensin mitattuaan ne. -Lääkäri kirjaa ylös hengitysmekaniikkaan liittyvän informaation.
OYS
<ul style="list-style-type: none"> -Teho-osastolla seurantatiedot kirjautuvat automaattisesti käytössä olevaan atk-pohjaiseen potilastietojärjestelmään. -Heräämässä tiedot kirjataan anestesiakaavakkeelle sairaanhoitajan toimesta. -Vuodeosastolla mittaustulokset kirjaa sairaanhoitaja heti mittausten jälkeen paperille ja siirtää tulokset sähköiseen sairauskertomukseen kansliassa (Mittaus -> kirjaus paperille -> kirjaus sähköiseen sairauskertomukseen).
Jorvi
<ul style="list-style-type: none"> -Teho-osastolla seurantatiedot kirjautuvat automaattisesti käytössä olevaan atk-pohjaiseen potilastietojärjestelmään. -Muut tiedot kirjataan käsin sängyn päädyssä sijaitsevaan tietokoneeseen eli sähköiseen potilastietojärjestelmään.
ODL (heräämöhoito)
<ul style="list-style-type: none"> -Akuutissa tilassa sairaanhoitaja kirjaa erilleselle lomakkeelle parametrit, lääkitykset, nesteet ja muut potilaan vointiin liittyvät asiat. Tätä tietoa ei saa vietyä potilastietojärjestelmään, vaan tieto jää paperilomakkeelle. Tietoja kirjataan noin puolen tunnin välein, jos vointi on hyvä. Muussa tapauksessa tietoja kirjataan tiheämpään. -Akuutin valvonnan jälkeen tietoja (esim. verenpainetta) kontrolloidaan 2-3 kertaa vuorokaudessa. Nämä tiedot kirjataan ensin paperille ja viedään myöhemmin sairaalan tietojärjestelmään.
Mehiläinen

- Teho-osastolla on käytössä vanhanaikainen kirjaamiskäytäntö, jossa sairaanhoitaja kirjaa käsin seurattavat potilastiedot suunnilleen tunnin välein potilasseurantapaperille.
- Sähköistä potilaskertomusta ei ole.

Taulukko 6.

Mikä tieto kirjataan automaattisesti ja mikä käsin?

Automaattisesti siirtyvä tieto (HYKS)	Käsin kirjattuna siirtyvä tieto (HYKS)
<ul style="list-style-type: none"> -Ventilaattorista saatava tieto (pääosin) -Valvontamonitorista saatava tieto (pääosin) -Verenpaine -Pulssi -Määrävälein annostettu lääkitys 	<ul style="list-style-type: none"> -Täyttöpaineet -Perushoito (pesut, asentohoidot, haavavoidot ym.) -Nesteenvaihdot -Potilaan tarkkailut -Hengityskone- ja lääkeinfuusioiden muutokset -Ventilaattorisäädöt (osittain)

Taulukko 7.

Hoitohenkilöstön esittämät kehittämistarpeet potilasvalvonnassa

<p>Kehittämiskohde</p> <ul style="list-style-type: none"> -Johtomäärän vähentäminen (selkiyttäisi hoitoympäristöä) -Yksi, yhteinen ”putki”/kaapeli, jossa johdot kulkisivat -Modulien vähentäminen -Potilaan nopeampi siirtämismahdollisuus

- Erilaisten monitorointivaihtoehtojen saaminen
- Langattomat vaihtoehdot (kaukosäädin-periaate)
- Tehopotilaan mittausparametrit valvontamonitoreista siirtyvät jo nyt automaattisesti sähköiseen sairauskertomukseen. Kehitettävää voisi olla potilaan asennon seurannassa tms.
- Toisaalta mittausten kehittäminen noninvasiivisilla (=elimistön ulkopuolella tapahtuva) menetelmillä olisi turvallisempaa ja helpompaa toteuttaa sekä tehohoidossa että leikkaussalissa/heräämössä/osastohoidossa.
- Leikkaussalissa, heräämössä ja osastoilla kehitettävänä olisi kirjaamisen vähentäminen ts. tiedonsiirto suoraan sähköiseen sairauskertomukseen potilaan vierellä, kun mittaus on suoritettu.
- Tehdään moninkertaista kirjaamista tai akuuttivaiheen tietoa ei kirjata olemassaolevaan järjestelmään lainkaan. Iso ja kriittinen osa puuttuu tietojärjestelmästä, koska leikkaus, heräämö ja vuodeosaston kriittisin vaihe puuttuu tietojärjestelmästä ja nämä vaiheet kirjautuvat vain paperille.
- Potilas sijoitetaan huoneeseen monitorin kanssa ja hoitaja hoitaa osastolla myös muita potilaita. Huoneessa oleva laite hälyttää, mutta hälytyksiä ei saada menemään hoitajalle, vaan hoitajan täytyy koko ajan yrittää pysyä kuuloetäisyydellä.
- Nykyiset monitorit ovat hyviä ja niiden tulisikin valvoa potilasta ja informoida suoraan hoitajaa, jos voinnissa on jotain erikoista, eikä vain piipata huoneessa aiheuttaen huolta potilaalle.
- Moninkertaisen käsinkirjaamisen vähennys
- Vähemmän johtoja, enemmän langattomia valvontalaitteita, esim. saturaatiomittari
- Monitorointi mahdollisimman johdottomasti: Nykyisin kaikissa mittauksissa omat johdot, esim. RR, CVP. Nykyisin johdot menevät sekaisin helposti.
- Mahdollisimman vähän häiriöitä erilaisiin käyriin parantamalla laitteistoja & kosketuspintoja
- Erilaisten artefaktujen poistaminen eli luotettavuuden lisääminen
- Keskusvalvomo
- Nykyään hoitajan on kirjattava erikseen maininta tietojärjestelmään mahdollisista artefaktoista, jotta niitä ei juridisesti tulkittaisi väärin esim. potilasasiakirjoja jälkikäteen tarkasteltaessa.

4.3 Tulevaisuuden langaton sairaala

Suomen terveydenhoitoalaa samoin kuin ylipäänsä koko Suomen työvoimaa, uhkaa lähivuosina resurssipula suurten ikäluokkien ikääntymisen ja eläköitymisen seurauksena [Alasaarela 2006]. Väestön nopean ikääntymisen lisäksi myös krooniset sairaudet tuovat haasteen Suomen kansantaloudelle lähivuosikymmeninä [Kaitera 2005]. Sama ongelma on vireillä myös muualla maailman suurissa teollisuusmaissa [Kaitera 2005]. Tästä syystä on tärkeää kehittää terveydenhoidon prosesseja teknologian avulla niin, että terveydenhoitoprosessien automaatio saa tulevaisuuden sairaaloissa suuremman ja suuremman roolin. Näin kevennetään merkittävästi terveydenhoitohenkilökunnan työtaakkaa [Alasaarela 2006].

Perinteisesti sairaalan laitteisto on ollut erittäin vaikeakäyttöistä, laitteet ovat suuria ja monimutkaisia. Lisäksi laitteistoa varten on jouduttu rakentamaan monimutkainen infrastruktuuri. Korkean siirtonopeuden omaavat kuituverkot ovat kalliita ja hankalakäyttöisiä [Masuda ym. 2005]. Eräs tärkeimmistä tulevaisuuden sairaalojen teknologisista uudistushankkeista tulee olemaan langaton paikannus ja seuranta [Alasaarela 2006]. Tällä tarkoitetaan potilaiden, henkilökunnan sekä laitteiden paikantamista langattomasti. Näin voidaan optimoida sairaalahenkilökunnan työajan käyttöä siten, että potilaiden ym. laitteiston etsiskelyyn kuluva aika minimoidaan [Alasaarela 2006]. Lisäksi hoitajien työ helpottuu, kun potilassänkyjä voidaan siirrellä vapaasti, sillä sängystä ei enää roiku häiritseviä johtoja, vaan kaikki tiedonsiirto tapahtuu langattomasti. Lisäksi langaton tiedonsiirto saattaa tulla pitkällä aikavälillä jopa edullisemmaksi sairaalalle, kun monimutkaisilta kytkennöiltä ja verkoston rakennusurakoilta vältytään.

Langattoman tekniikan tuomina etuina mm. potilas on tarkoitus tunnistaa ja paikantaa esim. kortin tai rannekkeen avulla, kun tämä liikkuu sairaalan sisällä. Rannekkeeseen (tai korttiin) syötettäisiin potilaan henkilö- ja muut tarvittavat tiedot ja se olisi osa sairaalan tietoverkkoa. Sairaalassa käytettävä langattomuus vähentäisi hoitajien työtä johtojen parissa mahdollistaen potilaan tunnistamisen ja elintoimintojen mittaamisen silloinkin, kun potilas liikkuu sairaalan hoitoyksiköiden välillä. Lisäksi elintoimintojen

seuraaminen on reaaliaikaista ja voidaan suorittaa sairaalaosaston valvomosta käsin. Esimerkiksi veren happipitoisuuden arvot voidaan lähettää langattomasti mittaantureista valvomon monitoriin ja näin ollen ei tarvita kalliita monitoreita jokaiselle potilaalle. Tämän ansiosta on mahdollista seurata yhä useamman potilaan mittaussuureita. Langaton tekniikka mahdollistaa myös jatkuvan mittauksen, kun potilasta siirretään esim. heräämöstä teho-osastolle. Tämä antaa hoitohenkilökunnalle mahdollisuuden keskittyä tärkeämpiin asioihin, kun jatkuva johtojen kiinnittämisen ja irroittamisen tarve loppuu [Tuominen 2005].

Jos sairaalassa ilmenee vajausta ammattitaitoisesta hoitohenkilöstöstä, on lähitulevaisuudessa mahdollista saada kriittisessä tilassa olevalle potilaalle vuorokauden läpi jatkuva monitorointi etäpisteestä, jossa ammattitaitoista henkilöstöä löytyy. Sieltä he neuvovat hoitotiedon puutteessa olevaa henkilökuntaa. Tämä on hyvin tärkeää esim. maaseudun pienemmissä sairaaloissa sekä armeijan sairaaloissa, jonne ei yksinkertaisesti ole mahdollista saada riittävästi ammattitaitoisia, vuorokauden läpi päivystäviä lääkäreitä tai hoitajia. Näin kyseiset sairaalat kykenevät tulemaan toimeen omilla resursseillaan, saadessaan apua langattomasti vaikkapa HYKS:n päivystävältä ortopedilta. Tämä keksintö tulee paitsi vapauttamaan sairaalojen resursseja myös vähentämään mahdollisia hoitovirheitä. Lisäksi useita potilaita on mahdollista lähettää kotihoitoon, kun monitorointijärjestelmä kytketään kotivuoteeseen [Rosenthal 2003].

4.3.1. Haasteet tulevaisuuden (langattomalle) sairaalalle

Langaton sairaala tuo mukanaan runsaasti haasteita. Esimerkiksi siirrettävän tiedon koko vaihtelee happisaturaatioarvojen siirtämiseen tarvittavista muutamista kilotavuista röntgenkuvien vaatimiin jopa satojen megatavujen kapasiteettiin. Näin ollen tarvitaan hyvin tehokas langaton verkko suurimpienkin tietomäärien siirtoon. Kuitenkin esteenä joillekin verkkoratkaisuille on sairaalan raskasrakenteinen ympäristö eristettyine huonetiloineen, jolloin avoimiin tiloihin suunnitellut verkkoratkaisut eivät välttämättä toimi. Lisäksi sairaalassa on tyypillisesti ollut voimassa konservatiivinen ilmapiiri, jossa uuden tekniikan ratkaisut vaativat paljon näyttöön perustuvaa tietoa. Tämä hidastaa

oleellisesti uusien innovaatioiden soveltamista ja niiden vakiintumista sairaalailmapiiriin [Tuominen 2005].

Varsin tärkeä huomio tulevaisuuden sairaalaa kehitettäessä on, että langattomat laitteet eivät saa häiritä muita leikkaukseen sekä potilasvalvontaan vaadittavia laitteita ja niiden häiriösuojauksen on oltava riittävä. Tämä havaittiin vuonna 1998 Yhdysvalloissa Teksasissa, kun paikallisen televisiokanavan HDTV-lähetys (High Definition Television) kaatoi noin puolet kokonaisen sairaalakerroksen langattomista yhteyksistä. Tämä johtui siitä, että sairaalan langattomiin yhteyksiin käyttämät UHF- ja VHF-radiotaajuuskaistat saivat häiriötä HDTV-kaistasta. Tästä opittiin, että elintärkeät potilaanhoitojärjestelmät (mm. teho-osastoissa) on syytä sijoittaa radiotaajuuksien ulottumattomiin. Lisäksi Yhdysvalloissa, lokakuussa 2002, Federal Communications Commission (FCC) kielsi uudet UHF-kaistaa käyttävät sairaalasovellukset ja määräsi sairaalasovelluksille uudet radiotaajuuskaistat. Syynä tähän oli, että UHF-taajuuskaista oli rajusti ylikuormittunut mm. sairaalan henkilöstön jatkuvan radiopuhelimien käytön sekä poliisi-, paloauto- että kuljetusradion käytön seurauksena [Rosenthal 2003].

Yhtenäisen rajapinnan puute langattomille sovelluksille aiheuttanee myös ongelman tulevaisuuden sairaalalle. Nykyisin useat ohjelmistotoimittajat käyttävät omia rajapintojaan markkinareviirejään suojellakseen. Tästä syystä markkinoille saapuvat langattomat järjestelmät ovatkin varsin erilaisia eri maissa. Vakiintuneita rajapintastandardeja ei vielä toistaiseksi ole olemassa. Langattomille ratkaisuille tulisi saada yhtenäinen, avoimet rajapinnat tarjoava alusta, jossa olisi paikat sekä langallisille, että langattomille ratkaisuille sekä erilaisille radiorajapinnoille. Tällaiseen alustaan olisi nykyisten järjestelmien toimittajien helppo liittyä yhtenäisen rajapinnan ansiosta ja näin myös uusien sovellusten kehittäjille avautuisi kosolti mahdollisuuksia tuoda tuotteitaan markkinoille. Amerikkalainen Health Tech Center on laatinut tulevaisuuden ennusteen, jonka mukaan eräs vaikeimpia haasteita on juuri integroidun rajapinnan kehittäminen. Eräs vaihtoehto olisi heidän mukaansa antenni, joka toimisi WLAN, ZigBee-, Bluetooth-, UWB-, kännykkä- ja ISM-taajuuksien alueella [Alasaarela 2006].

Eräs langattoman teknologian haaste on langattomien sovellusten tietoturva. Sairaalassa esiintyvä tieto on usein kriittistä ja sen suojaaminen välttämätöntä. Tietoturvallinen tiedonsiirto tarkoittaa, että ulkopuoliset (eli muut kuin lähettäjä sekä vastaanottaja) eivät pääse lukemaan sanomaa ja että sen saapuminen vastaanottajalle on voitava jälkeenpäin todistaa. Lisäksi sekä sanoman lähettäjän että vastaanottajan on oltava luotettavasti tunnistettavissa ja sanoma ei saa päästä muuttamaan muotoaan matkalla.

Sairaalansisäinen verkko suojataan yleensä palomuuureilla. Palomuurit eristävät sairaalaverkon julkisista ym. verkoista ja valvovat palomuurin läpikulkevaa liikennettä. Tämä estää (tai vähintäänkin minimoi) mahdolliset hyökkäysyritykset sairaalaverkkoon tämän ulkopuolelta, mutta silti palomuurit mahdollistavat pääsyn sairaalaverkosta muihin verkkoihin, esim. julkisen verkon palveluihin. Langattomien sovellusten tietoturva paranee nopeasti ja varteenotettavia ratkaisuja alkaa saapua markkinoille [Alasaarela 2006, Raitakari 1999].

Käyttöliittymien kehittäminen on suuri haaste tulevaisuuden sairaalalle. Esim. Yhdysvalloissa tehdyn tutkimuksen mukaan PDA-pohjaiset potilaskertomusten selausohjelmat koetaan aikaavieviksi, ja niiden ketjutettujen ikkunoiden kautta toimiva käyttöliittymä heikoksi. PDA-pohjaiset selausohjelmat ovat vielä suhteellisen uusia sovelluksia sairaalamailmassa ja riittävä harjoittelu sekä käyttöliittymän kehittyminen tulevat todennäköisesti lisäämään myös PDA-pohjaisten potilaankertomusten suosiota tulevaisuudessa [Alasaarela 2006].

5 Tekninen ratkaisu älykkäälle potilasvuoteelle

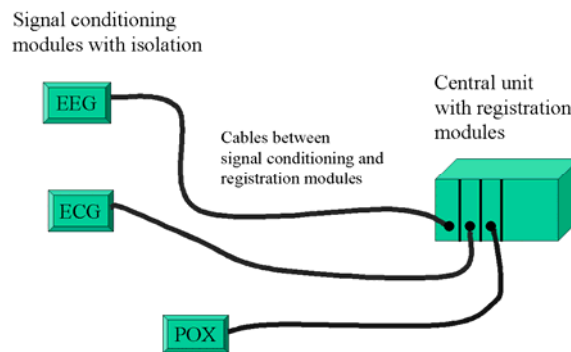
5.1 Spesifinen sovellusverkko (specific application network, SAN)

Teknillisen korkeakoulun Sovelletun elektroniikan laboratoriossa on kehitetty teknisiä ratkaisuja potilaiden elintoimintojen seuraamiseen [Piipponen ym. 2007]. Potilaan elinten lähettämiä signaaleja (biosignaaleja) voidaan rekisteröidä lääketieteellisillä

laitteilla (monitoreilla), jotka joko suoraan näyttävät signaalin näytöllä tai tallentavat sen laitteen muistiin. Tällä hetkellä sairaaloissa valtaosa signaaleista siirtyy laitteistoihin kaapeleiden välityksellä. Tavoitteena on kehittää järjestelmiä niin, että tieto voisi siirtyä langattomasti potilaasta laitteeseen.

Biosignaalit sekä muut signaalit rekisteröivä lääketieteellinen laitteisto vaatii sähköisen eristyksen. Tärkein syy tähän ovat turvallisuusvaatimukset. Eristys estää häviövirtoja vuotamasta laitteiston johdotuksen läpi ja ehkäisee näin mahdollisesti aiheutuvat haitalliset vaikutukset kuten sähköshokit ja palovammat. Toinen syy on havaita heikot signaalit niin hyvällä signaalin hyötysuhteella kuin vain mahdollista. Yhteismuotoiset virrat, jotka virtaavat elektrodipintojen läpi, synnyttävät merkittäviä määriä eromuotoista sähköistä kohinaa. Näin ollen eristystä tarvitaan minimoimaan yhteismuotoiset virrat ja myös synnytyt eromuotoiset kohinat. Verkkotaajuudella (50 - 60 Hz) vaadittava eristys saadaan helposti aikaan, mutta kun kytketyn kohinaenergian taajuus kasvaa, vaikeutuu vaadittavan eristyksen aikaansaaminen huomattavasti. Näin on erityisesti silloin, kun kytketyn kohinaenergian tehotaso on korkea. Tämä tapahtuu esim. sähköisellä veitsellä suoritettun kirurgisen operaation aikana ja kun suoritetaan magneettista resonanssikuvauksia (MRI) [Piipponen ym. 2007].

Jotta havaittaisiin matalataajuisia signaaleja magneettisen resonanssikuvauksen aikana, käytetään yleensä optista yhteyttä signaalin esivahvistimien ja päärekisteröintielektroniikan välillä. Tämän jälkeen esivahvistimien virtalähde voidaan ladata käyttäen akkua tai valoparistoa, joka muuntaa optiseen kuituun tuodun valon sähköksi. Kaikilla esitetyillä ratkaisuilla on muutamia käytännön ongelmia. Eräs ongelma laitteiston biosignaalien rekisteröinnissä on potilaan ja signaalin saantimoduulien välisten kaapelien suuri määrä (kuva 21). Ratkaisu tälle voisi olla langattoman tiedonsiirron käyttö. Tässä tapauksessa täytyy käyttää akkuja ja langattomilla järjestelmillä on tapana synnyttää sähköisiä häiriöitä muihin laitteisiin, mikä voi olla vaarallista tai voi lisätä kohinatason määrää signaalin havaitsemisessa [Piipponen ym. 2007].



Kuva 21. Tyypillinen järjestelmä. Jokainen rekisteröitävä signaali vaatii oman kaapelinsa. Näin ollen tarvittavien kaapelien määrä on suuri. Yhteismuotoiset virrat ovat merkittäviä [Piipponen ym. 2007].

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että tällä hetkellä on ilmeinen tarve uudelle tavalle rakentaa potilasmonitorointilaitteisto, joka tuottaa korkean tason sähköisen eristyksen, on helposti laajennettavissa, ei tarvitse pattereita ja joka ei aiheuta haitallista sähkömagneettista kohinaa.

5.2 Täsmennetty sovellusverkkojärjestelmä

Teknillisen korkeakoulun Sovelletun elektroniikan laboratorio on kehittänyt prototyyppiä edellä kuvatun laitteiston valmistamiseksi [Piipponen ym. 2007]. Tässä uudessa ratkaisussa laitteisto-ongelmaan, joka kuvattiin aiemmin, käytetään hyväksi elektroniikan ja langattomien tiedonsiirtojärjestelmien nopeaa kehitystä.

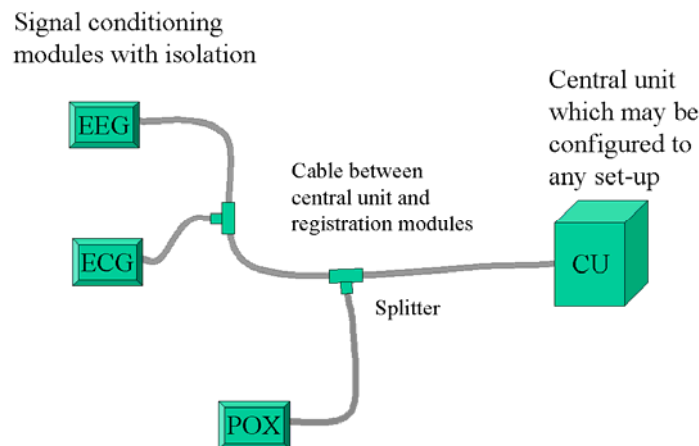
Toimintataajuuudet näille laitteistolle ovat yleensä gigahertsien taajuusalueella.

Esimerkiksi viime aikoina esitelty, laajaa suosiota saavuttanut langaton tiedonsiirtojärjestelmä on Bluetooth, joka käyttää 2,4 GHz:n ISM-kaistaa. Tätä järjestelmää tullaan käyttämään laajalti tiedonsiirtoyhteytenä matkapuhelinten ja muiden kannettavien laitteiden välillä. Se on myös saavuttanut suosiota muiden

sovellusten saralla. Vuoden 2000 loppuun mennessä jo yli 1000 yhtiötä ja yritystä ovat ilmoittaneet kehittävänsä tuotteita, jotka sisältävät Bluetooth tiedonsiirto-ominaisuuden [Piipponen ym. 2007].

Kehitteillä on myös muunlaisia ratkaisuja, kuten Wi-Fi, HomeRF, jne. Nämä saattavat tarjota jopa nopeampia tiedonsiirtonopeuksia kuin Bluetooth. Maksimaalinen tiedonsiirtonopeus, joka saadaan aikaan tämän hetkisillä Bluetooth-ratkaisulla, on n. 700 kbit/s. Tämä on riittävä taso siirtämään monikanavaista EKG:tä, EEG:tä sekä muita biosignaaleihin liittyvää informaatiota. Seuraavissa kappaleissa esitelty ratkaisu käyttää Bluetoothia tiedonsiirtoteknologiana, koska Bluetoothin konsepti on jo tällä hetkellä varsin korkealla kehityksen tasolla. On tosin huomautettava, että mitä tahansa sopivaa tekniikkaa voitaisiin käyttää esitellyn ratkaisun sijasta [Piipponen ym. 2007].

Tavanomaisena konfiguraationa uusi järjestelmä sisältää keskusyksikön sekä lukuisia muunninyksiköitä. Muunninyksiköitä käytetään signaalin muokkaukseen ja rekisteröidyt signaalit muunnetaan digitaaliseen formaattiin ja siirretään kaapelia pitkin keskusyksikköön. Kaapeli on koaksiaalikaapeli, jonka läpimitta on 2-3 mm, ja muut muunninyksiköt voidaan yhdistää kaapeliin käyttäen haaroittimia. Haaroittimet ovat pieniä, passiivisia komponentteja, joita käytetään laajalti korkeataajuisessa elektroniikassa. Matalilla tehotasoilla haaroittimen koko määritellään liittimien koon perusteella. Uuden järjestelmän ansiosta käytettävän kaapeloinnin määrä vähenee huomattavasti. Muunninyksiköihin siirrettävä teho siirretään samaa kaapelia pitkin korkealla taajuudella (esim. 2 GHz). Teho ja moduloitu signaali siirretään eristyksen yli, mikä voi olla jopa niinkin yksinkertainen kuin kaksi kondensaattoria. Koska signaalin- ja tehonsiirto tapahtuvat hyvin korkeilla taajuuksilla, kapasitanssien arvot voivat olla pieniä (esim. 1-2 pF). Nämä arvot ovat niin pieniä, että rajakapasitanssit muunninyksiköiden ja johdotuksen välillä ovat merkittävästi suuremmat. Näin ollen häviövirrat eristyskondensaattorien läpi eivät aiheuta terveysriskiä tai aiheuta ylimääräistä kohinakytkentää rekisteröintiyksikköön. Muunninyksiköt voivat olla suunniteltu hyvin pienikokoisiksi ja johdotus voidaan tehdä joustavalla kaapelilla, jonka ulkoläpimitta on 2-3 mm [Piipponen ym. 2007].



Kuva 22. Täsmennetyssä sovellusjärjestelmässä käytetään haaroittimia, joilla yhdistetään muunninyksikköjen johdot yhdeksi kaapeliksi [Piipponen ym. 2007]

Laitteistoratkaisun edut ovat ilmiselviä:

- 1) järjestelmän korkean eristyksen ansiosta järjestelmää on turvallista käyttää jopa tilanteissa, jolloin korkeataajuinen teho on kytketty potilaan kehoon.
Esimerkkejä tällaisista tapauksista ovat kirurgiset operaatiot sähköveitsellä ja kuvaus MRI-yksiköllä
- 2) korkea eristys minimoi kytkennän sähkömagneettisilta häiriöiltä
- 3) signaalin ja tehonsiirto yhtä johtoa pitkin ja mahdollisuus yksinkertaiseen haaroitukseen mahdollistaa merkittävän kaapelien vähennyksen
- 4) kuluttajamarkkinoille suunniteltujen komponenttien käyttö mahdollistaa matalakustannuksisen valmistuksen ja hyötyy jatkuvasta kehityksestä
- 5) Järjestelmä voi olla kytkettynä yleisiin Intraneteihin tai Internet-sovelluksiin
- 6) Kaksisuuntainen tiedonsiirto eristyksen yli mahdollistaa operointiparametrien hallinnan esim. muuntimissa ja vahvistimissa

Suunniteltu kehitysprojekti: Monikanavainen EEG-järjestelmä EEG:n rekisteröimiseen fMRI-skannauksen yhteydessä

Eräs ensimmäisistä uuden laitteiston sovelluksista on 64-kanavaisen EEG:n rekisteröinti fMRI-skannauksen yhteydessä. Skannaaja toimii 3T-yhteydellä, joten resonanssitaajuus on hieman alle 130 MHz. Lyhyiden virityspulssien teho on kilowattien luokkaa. Häviövirrat EEG-elektrodien läpi täytyy minimoida käyttäen korkean tason eristystä. Kanavien suuri määrä ja vaatimus esivahvistimien toimintatilan ohjaukseen edellyttävät tehokasta tiedonsiirtoa keskusrekisteriyksikön ja signaalinkäsittely-yksikön välillä [Piipponen ym. 2007].

Esivahvistimet voidaan realisoida käyttämällä matalatehoisia, alhaisen kohinan tuottavia vahvistimia. Esivahvistimien ulostulosignaalit näytteistetään ja limitetään multiplexsoituun A/D-konvertteriin. Digitaalinen tietovirta siirretään tämän jälkeen Bluetooth-lähetinmoduulin kautta eristysten läpi keskusyksikköön. Signaalin eheytyksyksikön teho voidaan toimittaa samaa reittiä kuin signaalit tai erillistä kaapelia pitkin keskusyksiköstä. Koska Bluetooth mahdollistaa kahdensuuntaisen tiedonsiirron, lähetin voi vastaanottaa ohjaussignaaleja keskusyksiköltä ja mukauttaa signaalin eheytyselektronikan toimintaparametreja. Näihin ohjaimiin kuuluvat vahvistimen säädöt sekä lineaarisen toiminta-alueen ulkopuolelle (esim. virityspulssien takia) ajautuneiden vahvistimien nollaus. Huonon elektrodikontaktin tapauksessa kyseinen esivahvistin voidaan sulkea ja näin minimoida mahdolliset häiriöt EEG-kartalla [Piipponen ym. 2007].

Korkeasta taajuudesta ja virityspulssien korkeasta tehosta huolimatta eristys voi silti vähentää yhdistävää kaapelia pitkin kulkevien häviövirtojen suuruutta. Keskusyksikkö voi olla Faradaysuojan ulkopuolella. Koska ulostulotaajuuden ja signaali/tehonsiirron taajuuden välillä on merkittävä ero (2,4 GHz), kaapelin läpivientä suojan läpi voidaan suodattaa [Piipponen ym. 2007].

Signaalinkäsittelyn elektroniikkaa voidaan valmistaa joko pintaan upotettuina komponentteina tai Flip-Chip teknologiaa käyttämällä. Näin ollen signaalinkeruuelektroniikka voi olla hyvinkin pienikokoista [Piipponen ym. 2007].

5.3. Älykäs potilasvuode

Langattoman teknologian kehitys on luonut kasvavan tarpeen kehittää myös sairaalaympäristöä langattomaksi. Yhtenä käytännön esimerkkinä tähän haasteeseen ollaan tässä tutkimus- ja kehittämishankkeessa valmisteltu "älykästä, langatonta potilasvuodetta", joka hyödyntää edellä esiteltyä Bluetooth-teknologiaa käyttävää ratkaisua signaalien ja tehon siirtoon. Älykäs potilasvuode paitsi helpottaa lääkäreitä ja sairaanhoitajia vähentämällä potilasvuoteen ympäristöä kuormittavaa johtomäärää, se myös tekee sängystä liikuteltavan ja helpottaa potilaan siirtoa sairaalasta toiseen. TKK:lla Sovelletun elektroniikan laboratoriossa ollaan parhaillaan kehittämässä potilasvuoteen prototyypin teknisiä ominaisuuksia. Tässä diplomityössä puolestaan kootaan perusteita älykkäälle potilasvuoteelle, arvioidaan potilaasta kerättäviä tärkeimpiä tietoja ja nykyisin sairaaloissa käytössä olevien laitteiden tasoa. Yksi merkittävin osa tätä diplomityötä ovat sairaalahenkilöstön kehittämis ehdotukset potilasvalvontaan, johon juuri älykäs ja langaton potilasvuode voi olla ratkaisu.

Älykkään potilasvuoteen idea perustuu tietokoneeseen, joka toimii vuoteen keskusyksikkönä. Tietokone kerää potilaasta rekisteröivät elintoimintojen tapahtumat, kuten EKG:n, verenpaineen, happisaturaation ym. huoneessa sijaitsevilta mittauslaitteilta. Mittauslaitteen anturit ovat kiinni potilaassa tai rekisteröivät hänen toimintojaan ja liikkeitään sekä lähettävät tiedot langattomasti vuoteessa olevaan tietokoneeseen. Tiedot tallennetaan tarkoitukseen kehitetyn ohjelman avulla vuoteen keskusmuistiin.

Keskusmuistista potilasvuode lähettää tiedot tarvittaessa langattomasti (Bluetoothilla) edelleen eri puolille sairaalaa, esimerkiksi sairaalassa sijaitsevaan keskusvalvomoon, josta voidaan samanaikaisesti monitoroida useampia potilaita.

Älykäs potilasvuode tarkoittaa vuodetta, jonka sisään on kiinnitetty akku, joka potilasosastolla ollessaan ladataan. Kun potilas siirretään huoneesta pois, toimii potilasvuode ja sen akku ladattuna tarvittaessa jopa pitemmän aikaa. Kun potilas palaa vuoteineen osastolle, alkaa latautuminen uudestaan. Älykkääseen potilasvuoteeseen kuuluu myös paikannusvalmius (RFID). Sairaalassa olisi yksi älykäs potilasvuode kutakin potilasta kohti, ja näin mm. potilaan tunnistaminen ja potilaan kanssa työskentely helpottuisivat huomattavasti.

Älykäs potilasvuode on ikään kuin liikuteltava tietokone, joka tallentaa potilaasta sovitut elintoimintojen tiedot tietokoneelle, josta tiedot voidaan lukea paikan päällä hoitotoimenpiteiden ja seurannan aikana, mutta myös siirtää langattomasti keskusvalvomoon ja keskitettyihin potilasrekistereihin. Älykäs potilasvuode on laitekokonaisuus, jossa potilasvuoteen valmistaja ja monitorointilaitteiden tuottajat yhdessä kokoavat tarpeisiin vaadittavat elementit yhdeksi kokonaisuudeksi.

Langattomuus toteutuu elintoimintojen rekisteröinnissä kun tieto antureista siirtyy vuoteessa olevaan tietokoneeseen ja siitä edelleen langattomasti keskusvalvomoon, potilasrekisteriin tai muihin tutkimusyksiköihin sairaalassa.

6 Pohdinta

6.1. Sairaalavierailut

Tämän hetkisten tietojemme mukaan tekemämme tutkimus sairaaloiden teho-osastojen potilasvalvonnassa käytettävistä langattomista potilasvuoteista on ensimmäinen lajissaan. Potilaiden elintoimintojen seurannassa käytetään nykyisin lukuisia laitteita, jotka kaikki kytketään johdoilla kiinni potilaaseen sekä näyttöpäätteeseen tai

tietokoneeseen. Tämän seurauksena työskentely potilaan parissa vaikeutuu ja hidastuu, kun johtoja joudutaan varomaan sekä jatkuvasti kiinnittämään ja irroittamaan.

Tekemäni tutkimuksen tarkoituksena oli hakea teknisiä sovelluksia potilasmonitoroinnin parantamiseksi. Eräs varteenotettava sovellus on työssä esittelemäni ”älykäs potilasvuode”, jonka prototyyppi käytiin läpi kappaleessa 5. Potilasvuoteen kehitystä varten vierailimme neljässä sairaalassa: OYS, Mehiläinen, Meilahti sekä Jorvi tutustuen näiden sairaaloiden teho-osastoihin ja siellä toimivien sairaanhoitajien sekä lääkärin työolosuhteisiin. Lisäksi saatiin hoitohenkilöstöltä tietoa Oulun Diakonissalaitoksen tutkimus- ja hoitokäytännöistä.

Tarkoituksena oli saada käytännön kokemusta potilaiden kanssa työskentelystä tehohoitotilanteissa sekä kartoittaa nykyisin käytössä olevaa laitteistoa tehohoitopotilaan seurannassa. Oletuksemme oli, että juuri tehohoidossa potilasvuoteeseen liittyy eniten valvontalaitteita ja niiden oheismateriaalia, joiden kehittämisellä voidaan edistää hoitohenkilöstön työolosuhteita ja työn tehokkuutta.

Sairaalakierroksen ensimmäinen sairaala oli Oulun yliopistollinen keskussairaala (OYS), jossa oli parhaillaan käynnissä langattoman sairaalan kehityshanke (WILHO). Oulun sairaalat OYS sekä Oulun diakonissalaitos toimivat yhteistyössä langattoman sairaalan kehityshankkeessa. Langattoma sairaalaa ollaan kehittämässä uudeksi tavaksi toimia sairaaloissa. Oulu on yksi ensimmäisistä ja edustaakin sikäli kotimaisen sairaalateknologian huippua. Sairaalavierailulla kävi kuitenkin ilmi, että projektin tässä vaiheessa hanke keskittyy pääasiassa toimintaprosessien kehittämiseen ja toiminnan tehostamiseen, joten varsinaisia laitesovelluksia on toistaiseksi kehitteillä niukasti. WILHO-hankkeen taivotteena onkin, että sairaalaprosessiin liittyvä tiedonsiirto voidaan suorittaa ilman johtoja ainoastaan siltä osin, kun se on käytännöllistä, eli tavoitteena ei suinkaan ole ”täysin langaton” sairaala. Hankkeen painopiste on tehostaa työskentelyä sairaalassa ja karsia pois kaikki tarpeeton sairaalahenkilökunnan toimenkuvasta. Langattomuus ja tekniset sovellukset ovat näin ollen vasta projektin toissijainen tavoite.

WILHO-hankkeen eräs päämäärinä on saada OYS:ään langaton järjestelmä, johon työntekijät voivat liittyä kannettavilla PDA- tai Nokia-matkapuhelinpohjaisilla käyttöliittymillään. Näin saadaan helposti ja nopeasti mm. potilaan henkilö- ja paikannustiedot sairaalassa. Laitteiden olisi tarkoitus mahdollistaa myös ESKO-sairauskertomuksen käyttö langattomasti kämmenmikrosta. Tämä uusi teknologia tulisi hyödyntämään sairaalassa jo käytössä olevaa LAN-verkkoa yhdistämällä kannettavat laitteet verkkoon WLAN- sekä UWB-tukiasemien avulla.

Tällä hetkellä hanke OYS:ssä oli vasta alussa, mutta järjestelmä olisi tarkoitus saada koekäyttöön kuluvan vuoden aikana. Ongelmana on ollut yhteensopimattomuus kämmenmikron näppäimistön ja Windows XP-käyttöliittymän välillä. Ongelma on tosin melko pieni ja ratkennee ilman suurempia ponnisteluja. Toimiessaan kämmenmikropohjainen WLAN-yhteys tarjoaisi tehokkaan ratkaisun nopeuttamaan sairaalahenkilökunnan päivittäistä työskentelyä sairaalassa: Sähköinen sairauskertomus olisi aina käden ulottuvilla ja näin potilaan tiedot voitaisiin päivittää tietokantaan reaaliaikaisesti missä osassa sairaalaa tahansa. Tiedonkeruun lisäksi lääkärit voisivat tehdä potilaslähetteen ja epikriisin kämmenmikron avulla. Edellä mainitut tehtävät vievät nykyisin merkittävän osan lääkäreiden työajasta ja toimiessaan langattomasti toisivat runsaasti aikaa muiden kriittisten toimenpiteiden hoitamiseen. Tämän lisäksi lääkärit ja sairaanhoitajat pääsisivät käsiksi myös muiden ESKO:a käyttävien sairaaloiden sairauskertomuksiin, mikä osoittautunee jatkossa korvaamattomaksi, kun kriittisessä tilassa olevia potilaita tuodaan sairaalaan vieraalta paikkakunnalta. Näin heidän sairauskertomuksensa ovat nopeasti saatavilla ja lääkinnän sekä hoitotoimenpiteiden suunnittelu nopeutuu ja helpottuu.

Langattoman sairaalan konseptia tulisi hyödyntämään OYS:ssä esitelty Radio Frequency Identification- (RFID-) tai WLAN- pohjainen potilaan paikannusjärjestelmä. Langattoman paikannusjärjestelmän ensisijainen tavoite on vähentää sairaalahenkilökunnan inhimillisten erehdysten aiheuttamia tapaturmia ja lisäksi säästää potilaiden ja henkilökunnan paikannukseen kuluva aikaa. Todennäköisempi vaihtoehto kahdesta edellämainitusta on RFID-pohjainen järjestelmä, jonka suurin etu WLAN-ratkaisuun verrattuna on sen huomattavasti edullisempi hinta. RFID-pohjainen

järjestelmä toimii tunnistemerkkien avulla, jotka sisältävät tietoa tarkkailtavasta kohteesta. Tunnisteen tietoja voidaan helposti päivittää esim. kämmenmikrolla, johon on kiinnitetty lukulaite.

Järjestelmän ongelmana tosin on sairaalassa tarvittavien tunnistemerkkien suuri lukumäärä, kun paikannettavia kohteita (potilaita, henkilökuntaa, lääkintävälineitä) on sairaalassa lukuisia. Tästäkin huolimatta järjestelmä on osoittautunut halvimmaksi paikannusmenetelmäksi sairaalaympäristöön. Käyttämällä RFID-paikannusjärjestelmää sairaanhoitajan on helppo lukea kämmenmikrosta (tai jopa kännykästään) halutun potilaan, lähimmän päivystävän lääkärin tai tarvittavien lääkintävarusteiden sijainnit sairaalassa. Onkin todennäköistä, että virheettömästi toimiessaan langaton paikannusjärjestelmä tulee olemaan eräs tärkeimmistä WILHO-hankkeen tarjoamista uudistuksista sairaalassa. Etenkin tehohoitoympäristössä paikannus on tervetullut, sillä hoitohenkilöstön työrytmi on hektinen ja impulssimainen. Aina kun uusi kriittinen potilas tuodaan osastolle, joutuu suuri osa henkilöstöstä jättämään senhetkiset tehtävänsä ja rientämään potilaan avuksi. Tämän jälkeen rytmi rauhoittuu ja jää odottamaan uuden syklin alkua.

WILHO-projektin prosessien kehittämisessä pyritään ensiksi arvioimaan tutkittavana olevan osaston eri prosessien kulku, järjestäytyminen, siihen kuuluva henkilöstö ja sen toiminta eri tilanteissa sekä toimintojen liittyminen muihin prosesseihin. Tarkoituksena oli muodostaa kokonaiskuva osaston toiminnoista ja niissä todettavista kehittämistarpeista.

Kun osaston toiminnot on saatu kuvattua, pohditaan siinä olevien laite- ja ohjelmistosovellutusten nykyinen tila ja kehittämistarpeet. Kun toiminnot tunnetaan ja niiden sisäisellä tehostamisella on saatu aikaan optimaalinen toimintojen tila, näihin suunnitellaan laitteet ja tutkimusmenetelmät hyödyntäen uutta langatonta teknologiaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi potilaan seurannassa arvioidaan seurantaan kuuluvien tapahtumien optimaalinen tila ja laitteistot. Sen jälkeen arvioidaan laitteistojen kehittämismahdollisuudet sekä hyödynnetään langatonta teknologiaa niiden

uusimisessa. Varsinaisesta langattomasta laitekannasta OYS:ssä oli testausvaiheessa sairaalan kehittämä langaton henkilön paikannuslaitteisto.

Toisena tutkimuskohteena oli Meilahden teho-osasto, joka on osa HYKS:in sairaalaketjua ja sijaitsee Meilahden sairaalakampuksella ensiapupoliklinikan välittömässä läheisyydessä. Vierailin raskaan hoidon teho-osastolla, jonne otetaan vastaan suuri määrä tapaturmapotilaita, jotka on tuotu sairaalan ensiapuosastolle. Meilahden teho-osasto oli tärkeä vierailukohde, sillä sinne saapuvat potilaat tarvitsevat erittäin pikaista hoitoa ja hoitotoimenpiteet onkin aloitettava välittömästi potilaan saapuessa ambulanssista sairaalaan.

Lääkärikeskus Mehiläisen sairaalan teho-osastolla ei ole sähköistä sairauskertomusta, vaan sairaanhoitajat kirjoittavat sairauskertomuksen paperille ja päivittävät potilaan tietoja suunnilleen tunnin välein. Sairauskertomuksen automatisointia ei olla nähty ajankohtaiseksi, sillä tehohoitopotilaiden lukumäärä sairaalassa on pieni, eikä tarvetta automatisoinnille näin ollen löydy.

Potilaiden vähäisen lukumäärän vuoksi Mehiläisen tehohoito-osaston huonekoko on suhteellisen pieni. Tehopotilaita on vain kolme huonetta kohden. Tämä parantaa potilaiden hygieniaa eristämällä pisaratartuntana leviäviä tauteja sairaalan sisällä. Toisaalta pienempi huonekoko asettaa edellytyksen sairaanhoitajien lukumäärän kasvattamiselle, mutta pienen potilaslukumäärän vuoksi on sairaanhoitajia Mehiläisen sairaalassa riittävästi.

Jorvin sairaalan teho-osasto on nk. ”sekateho-osasto”: Potilaita saapuu teho-osastolle tapaturmien, sydän- ja verisuonisairauksien aiheuttamien kohtausten ja tajunnan menetyksen seurauksena, leikkauksen jälkeen tai muualta sairaalasta potilaan kunnan heikkenemisen seurauksena. Teho-osasto on teknisesti kehittynyt, kun verrataan sitä muihin vierailemiini teho-osastoihin. Pääosa potilaiden tiedoista kirjattiin sairaalassa ylös automaattisesti ja sairaalassa on sähköinen sairauskertomus.

Vaikka Jorvin teho-osaston sairaanhoitajien mielestä heidän lukumääräänsä ei enää nykyisestä voida vähentää hoidon laadun siitä kärsimättä, on otettava huomioon, että sairaalateknologian uudistuminen tullee tarjoamaan varsin merkittävässä määrin apua potilashoidon saralla. On totta, että sairaanhoitaja toimii potilaan sosiaalisena kumppanina ja suorittaa potilaan puolesta askareita, joita tämä ei itse pysty suorittamaan. Näitä toimenpiteitä ei (ainakaan toistaiseksi) olla yrittämässäkään korvata teknologisilla ratkaisuilla, vaan näitä varten on tärkeää olla olemassa tietty määrä sairaanhoitajia täydessä toimintavalmiudessa. Tosin teho-osastopotilaiden tarkkailu on osa-alue, minkä uskon tulevaisuudessa muuttumaan entistä enemmän automatisoiduksi, tietokoneen tekoälyn suorittamaksi. Sähköiset, tietokonepohjaiset tarkkailulaitteet kehittyvät koko ajan kiihtyvällä nopeudella ja entistä varteenotettavampia sovelluksia saapuu jatkuvasti markkinoille. Liikkeentunnistinpohjaisia sovelluksia voidaan käyttää hyväksi tehohoitopotilaan tilan tarkkailussa ja ongelmatilanteiden raportoinnissa. Vaikka epäilyjä tietokonepohjaisten tarkkailulaitteiden suhteen vielä löytyy, myös sairaalaympäristössä, on sovellusten laatu paranemaan päin. Uskonkin, että täysin testattu, toimintakykyinen laite kykenee lähitulevaisuudessa täysimittaiseen vertailuun sairaanhoitajan suorittaman tarkkailun kanssa. Tietokonepohjainen tarkkailujärjestelmä minimoisi inhimillisen erheen riskin ja pitkällä tähtäimellä helpottaisi merkittävästi sairaanhoitajien työtä ja näin ollen ehkä jopa mahdollistaisi henkilökunnan vähennyksen.

Oleellinen havainto tutkimuksen kannalta oli, että kriittisessä tilassa sairaalaan saapuvat tapaturmapotilaat sekä tajuttomat potilaat hyötyisivät eniten "älykkäästä potilasvuoteesta": Heidän kanssa on toimittava äärimmäisen ripeästi, sillä potilaan menehtymisen riski ilman välittömästi aloitettuja hoitotoimenpiteitä on merkittävä. Esimerkiksi Meilahden sekä Jorvin sairaalaan saapuu runsaasti tällaisia potilaita. Älykkään potilasvuoteen etuna on, että se on helposti siirreltävässä: Siinä on sisäinen akku ja tarvittavien johtojen määrä on minimoitu. Potilasvuoteen ulkopuolelle ei lähde johtoja, mikä tarkoittaa, että se on välittömästi liikuteltavissa ja näin ollen potilassänky saadaan pikaisesti työnnettyä esim. leikkaussaliin, jossa potilas voidaan operoida.

Älyvuoteen tarkoitus on, että se toimisi lähestulkoon kaikkialla ympäri sairaalaa: Potilasta ei tarvitse siirtää sängystä toiseen ja sänky on paikannettavissa eri puolilta sairaalaa. Tämä siis helpottaisi potilaan paikantamista ja pienentäisi myös potilaskustannuksia, kun potilaalle varattava sänky ja siihen asennetut mittalaitteet huolehtivat potilaan tarkkailusta koko potilaan sairaalassaolon ajan. Yllättävissä kriisitilanteissa, kuten esimerkiksi elvytyksessä, potilaan tiedot saadaan välittömästi selville älyvuoteen tallentamien seurantatietojen avulla, jotka lähetetään reaaliaikaisesti ja langattomasti keskusvalvomoon.

Koska OYS:n sairaala oli tutkimuksen vierailukohteista langattoman teknologian osalta pisimmällä, oli yllättävää, ettei sairaalakäyttöön, tai edes prototyyppitasolle, oltu saatu siellä vielä useampia langattomia sovelluksia kuin paikantamiseen käytetty laitteisto. Saman havainnon ovat tehneet myös Yhdysvaltojen ”langattomissa” sairaaloissa vierailleet suomalaistutkijat. Langaton teknologia on vielä tällä hetkellä varsin niukkaa sairaaloissa ympäri maailmaa. Suomen sairaalateknologia voisi hyödyntää nykyistä enemmän uusimpia teknologisia innovaatioita, joista merkittävin on langaton teknologia. Näin ollen langattomalle teknologialle löytyneekin varmasti runsaasti implementointikohteita sairaalaympäristössä älykkään potilasvuoteen lisäksi.

Siihen, miksei langattomuutta ole juuri hyödynnetty Suomen sairaaloissa, löytyy useita selityksiä. Tärkein syy lienee sairaalamailmassa vallitseva konservatiivinen ajatusmaailma: Muutoksia tehdään vain silloin, kun se koetaan välttämättömäksi sairaalan toiminnan (tutkimus- ja hoitotapahtumat) kannalta. Tällä hetkellä Suomen sairaanhoito on maailmanlaajuisesti tarkasteltuna maailman eliittiä. Sairaalat toimivat pääsääntöisesti moitteettomasti ja mitään ratkaisevan tärkeää syytä uudistaa nykyistä teknologiaa ei ole ilmennyt.

Toinen tärkeä syy teknologisen kehityksen taantumaan on rahoitus: Langattoman teknologian integrointi sairaalateknologiaan vaatisi merkittäviä investointeja. Vaikka langattoman teknologian kehitys ja käyttöönotto pitkällä tähtäimellä tulisikin luultavasti edullisemmaksi kuin nykyteknologian ylläpitäminen, ei asiaa suinkaan koeta itsestäänselvyytenä: Vaaditaan runsaasti näyttöä siitä, että langattomaan teknologiaan

sijoitetut rahat tulevat aikanaan tuottamaan itsensä takaisin. Tämän osoittaminen on hankalaa ja näin ollen potentiaaliset investoijat harkitsevat tarkasti ennen projektiin liittymistä.

Ennakkoluulot uutta teknologiaa kohtaan sekä vanhanaikainen ajattelutapa ovat myös hidasteena langattoman teknologian käyttöönottoon. Etenkin vanhempien sukupolvien lääkärit ja sairaanhoitajat suhtautuvat nuorempia sukupolvia kielteisemmin langattomaan teknologiaan kokien sen epävarmaksi ja hankalaksi. Koska sairaalamaailman päättäjät kuuluvat tällä hetkellä pääasiassa kyseiseen vanhempaan sukupolveen, on tällä epäilemättä vaikutusta myös halukkuuteen uudistaa sairaalateknologiaa.

Eräs syy siihen, miksi langaton teknologia koetaan epävarmaksi, on siihen liittyvät tietoturvaongelmat. Etenkin muutamia vuosia sitten tietoturvaongelmat olivat vielä merkittäviä, mutta teknologian kehittyessä on pahimmista ongelmista päästy eroon. Tulevaisuudessa tilanne mitä todennäköisimmin paranee vielä entisestäänkin, mutta uuteen ympäristöön, kuten sairaalamaailmaan, sopeuttaminen tullee vaatimaan aikaa myös asiaankuuluvan tietoturvaratkaisun luomiseen. Sairaalassa käsiteltävä potilasinformaatio on äärimmäisen luottamuksellista ja arkaluontoista ja tämä asettaa ylimääräisen paineen tietoturvan aukottomalle toiminnalle. Potilastiedon joutuminen väärin käsiin on yhtä suuri tietoturvaongelma kuin esimerkiksi pankkitunnusten ja näin ollen käytettävien tietoturvaratkaisujen on oltava kansainvälistä huippua.

Modernit teknologiset uudistukset ovat tuoneet mukanaan myös erilaisten rajapintojen yhteensopivuusongelmat. Eri valmistajat ovat tuoneet markkinoille omat rajapintansa, jotka ovat usein ristiriidassa keskenään. Myös langatonta teknologiaa sovellettaessa tulee ottaa huomioon mahdolliset rajapintaongelmat: Käytettäessä useilta eri valmistajilta hankittuja laitteistoja on todennäköistä, että laitteet eivät toimi moitteettomasti keskenään. Uusia rajapintoja luodaan ja tulevaisuudessa päästäneenkin yhtenäisempiin rajapintoihin myös langattoman teknologian alalla, mutta toistaiseksi rajapintaongelma on vielä merkittävä. Tänä päivänä rajapintaongelmat aiheuttavat hankaluuksia etenkin sairaaloiden välisessä sairauskertomusten vaihdossa. Eri

ohjelmistoilla luodut sairauskertomukset ovat usein yhteensopimattomia keskenään, eikä toisen sairaalan ohjelmisto usein tunnista toisella ohjelmistolla luotua sairauskertomusta.

6.2. Sairaalakyselyt ja haastattelut

Sairaanhoitajille jakamani haastattelulomakkeen kysymyksiin vastasi yhteensä 14 sairaanhoitajaa viidestä sairaalasta.

Ensimmäisessä haastattelulomakkeen kysymyksessä tutkittiin, mitkä ovat keskeisimmät elintoiminnot leikkauksen jälkeisessä sekä tehohoitopotilaan valvonnassa. Kysymyksen tarkoituksena oli selvittää tärkeimmät parametrit, joita älykäs potilasvuode monitoroisi. Tässä tutkimuksessa sairaanhoitajat pitivät tärkeimpinä seurattavina elintoimintoina mm. verenpainetta, EKG:tä, happisaturaatiota sekä hengitystiheyttä. Yhteensä sairaanhoitajat luettelivat 18 tärkeänä pitämäänsä suuretta. Tulokset olivat pitkälti samankaltaisia kuin aikaisemmin tehdyssä sairaalakyselyssä [Paksuniemi 2003].

Tämä aikaisempi kysely oli suoritettu lääkäreille, kun taas tässä esitetty tutkimus tehtiin sairaanhoitajille. Suurimmat poikkeavuudet sairaanhoitajille suorittamamme kyselyn ja lääkäreille suoritettun kyselyn välillä koskivat keuhkovaltimo-, laskimo- sekä systemaattisten paineiden tarkempaa erittelyä sekä potilaan painon mittaamista. Nämä olivat teho-osastolääkärin mielestä tärkeitä, mutta sairaanhoitajat eivät pitäneet niitä oleellisina. Sairaanhoitajat puolestaan pitivät potilaan liikkeen, EEG:n, kivun sekä rytmin tarkkailua oleellisena, toisin kuin teho-osastolääkäri. Erot sairaanhoitajien ja lääkärien vastaustuloksissa olivat kuitenkin melko vähäiset ja huomattavimmat erot selittyivät pitkälti sairaanhoitajien ja lääkärien toimenkuvien poikkeavaisuuksilla: Sairaanhoitajat työskentelevät intensiivisemmin potilaan kanssa ja työ on hyvin käytännönläheistä kun taas lääkärin toimenkuvaan kuuluu teoreettisempaa työskentelyä, kuten hoitokeinojen ja lääkemäärien arviointia. Juuri näiden erojen vuoksi valitsimme sairaanhoitajat kyselykohteiksi. Myös hiljattain suoritettu tutkimus (Paksuniemi ym.

2005) osoitti, että tärkeimmät mitattavat suureet ovat varsin samankaltaisia, kuin saamamme tulokset [Paksuniemi ym. 2005].

Toisessa haastattelulomakkeen kysymyksessä käytiin läpi neljän teho-osaston potilasvalvonnassa käytetty laitekanta. Kaikki laitteet olivat erittäin hyväkuntoisia ja melko uusia. Käytännössä kaikissa sairaaloissa oli käytössä samat yleismittarit (Datex Ohmeda), hengityskoneet (Avea Viasys) ja infuusiopumput (Braun Perfusor, sekä Ivac). Teknologia ei hyödyntänyt lainkaan langattomuutta eikä ollut erityisen modernia. Laitteet olivat (lähes kaikki) suurten yritysten valmistamia, tämä osittain myös siksi, että sairaalalaitteiston hinta pysyisi alhaisena, kun laitteet ostetaan suurilta valmistajilta suurissa erissä. Kaikki laitteet olivat kytkettyinä potilaaseen johdoilla. Johtomäärä oli silmiinpistävän suuri ja sairaanhoitajien mukaan johdot sotkeutuvat helposti toisiinsa hankaloittaen työskentelyä potilaan äärellä. Koska mittauslaitteita oli runsaasti ja ne sijaitsivat poikkeuksetta puolikaaren muotoisessa muodostelmassa potilaan ympärillä, ei johtoja saada helposti yhdistettyä toisiinsa siten, että ne muodostaisivat yhteisen putkilon (runsaiden johtojen aiheuttaman sekavuuden selvittämiseksi).



Kuva 23. Tämän päivän sairaalan mittaus- ja valvontalaitteistot sisältävät runsaasti johtoja.

Ainoastaan HP: n yleismonitorit sekä osa infuusiopumpuista oli yhdistetty johdoilla potilassängyn päädyssä sijaitsevaan tietokoneeseen, joka kirjasi automaattisesti ylös laitteiden mittaamat potilastiedot. Muu mitattava tieto oli kirjoitettava käsin joko sähköiseen sairauskertomukseen tietokoneelle tai paperille. Käytetyistä laitteista kaikki mittaus- ja valvontalaitteistot olisi nykytekniikalla mahdollista kehittää langattomiksi. Tämä vähentäisi oleellisesti johtomäärää potilassängyn ympärillä ja helpottaisi sairaanhoitajien ja lääkärin työskentelyä potilaan parissa ja potilaan siirtoa paikasta toiseen. On tosin huomautettava, että laitteiden kehitykseen ja tuotantoon vaadittavat resurssit saattavat kohota varsin suuriksi, joten vielä tällä hetkellä kaikkia monitorointilaitteita ei välttämättä ole järkevääkään kehittää langattomiksi. Eräitä laitteita, kuten esim. ”infuusiotorneja” on mahdotonta muuntaa langattomiksi, sillä nesteet on siirrettävä letkuilla potilaaseen. Oulun diakonissalaitoksessa oli koekäytetty patjan alle asennettavaa lisäpatjaa, joka mittasi hengitystä, pulssia ja liikettä. Toimiessaan tämä saattaisi olla hyödyllinen osa älykästä potilasvuodetta.

Teho-osaston henkilöstöltä kysyttiin myös potilaiden tietojen kirjaamiskäytännöistä. Tulokset analysoitiin sairaalakohtaisesti. Kuten aiemmin on todettu, valtaosa tiedoista kirjataan edelleen ylös käsin kaikissa sairaaloissa. ODL:ssä ja Mehiläisessä ei ole lainkaan sähköistä potilastietojärjestelmää, joten näissä sairaaloissa hoitajien on kirjattava ylös käytännössä kaikki potilastieto noin tunnin väliajoin. Muissa sairaaloissa atk-pohjainen potilastietojärjestelmä kirjaa yleismittarilla saadun informaation, pääosan ventilaattorista saatavan informaation, pulssin, verenpaineen sekä määrävälein annostellun lääkityksen. ODL:ään ja Mehiläiseen saapuvat potilaat ovat käytännössä katsoen aina toipumassa leikkauksesta, joten potilaan tila ei ole niin kriittinen kuin muilla sairaaloilla ja potilaan saapumiseen kyetään lähes poikkeuksetta varautumaan hyvissä ajoin. Tämä selittää sen, miksei olla nähty tarpeelliseksi hankkia näihin sairaaloihin sähköistä potilastietojärjestelmää. Kuitenkin näkisin tulevaisuudessa tärkeäksi hankkia sähköinen potilastietojärjestelmä myös ODL:ään ja Mehiläiseen. Potilastietojärjestelmää tulisi kehittää niin, että se kirjaisi automaattisesti myös kaiken muun mitattavan potilastiedon. Tällä hetkellä tieto rekisteröidään järjestelmää tukevissa sairaaloissa potilassängyn päädyssä oleviin mittauspisteisiin, mutta langatonta teknologiaa hyväksikäyttäen on mahdollista siirtää kaikki potilastieto yhteen,

keskusvalvontapisteeseen, jonne se voitaisiin tallentaa ja josta voitaisiin lukea samanaikaisesti kaikkien potilaiden parametrit.

Haastattelulomakkeen viimeinen kysymys käsitteli tehohoitopotilan monitoroinnin kehittämistarpeita. Selvästi suurin osa vastanneista piti tärkeimpänä kehittämiskohtena johtomäärän vähentämistä. Tätä oltiin perusteltu lähinnä sillä, että se selkiyttäisi merkittävästi hoitoympäristöä. Lisäksi valitettiin, että johdot menevät nykyisin helposti sekaisin ja niiden selvittämiseen menee runsaasti aikaa. Ratkaisuksi tähän ehdotettiin potilassänkyyn saapuvien johtojen yhdistämistä yhdeksi, yhteiseksi putkeksi, jossa johdot kulkisivat. Lisäksi haluttiin nopeuttaa potilaan siirtoa paikasta toiseen sairaalassa. Nämä havainnot tukivat vahvasti älykkään potilasvuoteen kehittämistä: Älykkääseen potilasvuoteeseen asennetaan kaiken mahdollisen potilaasta mittaavat mitta- sekä valvontalaitteet. Johtojen määrä minimoidaan langattoman tiedonsiirron avulla. Ne johdot, jotka kulkevat potilaasta potilassänkyyn voidaan helposti yhdistää yhdeksi putkeksi, jotta johdot eivät sekoitu toisiinsa. Koska sängyn ulkopuolelle ei lähde johtoja tarkoittaa se, että sänky on helposti liikuteltavissa paikasta toiseen.

Tärkeänä kehityskohtena nähtiin myös potilasinformaation moninkertaisen käsinkirjaamisen vähennys. Ratkaisuvaihtoehtona johtomäärän vähentämiselle tarjottiin mm. langattomien sovelluksien kehittämistä. Esimerkkinä tästä ehdotettiin mm. langatonta saturaatiomittaria. Sairaanhoitajat toivoivat myös tiedonsiirtoa suoraan sähköiseen sairauskertomukseen potilaan vierellä tai keskusvalvomoon, kun mittaus on suoritettu. Potilaasta kirjattavat tapahtumat kootaan nykyisin paperitulosteisiin ja niistä siirto sähköiseen potilasarkistoon oli joissakin tilanteissa sattumanvaraista. Mikäli potilaan elintoiminnat rekisteröityisivät suoraan sähköisesti, ne myös olisivat kaikki tarvittaessa käytettävissä keskitetyssä sähköisessä potilasarkistossa.

Myös tämä sairaanhoitajien näkemys puoltaa älykkään potilasvuoteen luomista: Langattomasti (esim. Bluetoothilla) älykkäästä potilasvuoteesta siirrettävä potilastieto on helppo käsitellä esim. keskusvalvomosta käsin ja tieto tallentuu automaattisesti tietokoneen potilastietoihin, josta ne on helppo hakea myöhemmin; tarpeen vaatiessa jopa vaikka mistä päin maailmaa tahansa.

Oleellisena tehohoitopotilaan seurannan kehityskohteena nähtiin myös mittausten kehittäminen noninvasiivisilla menetelmillä. Nämä nähtiin turvallisempaan ja helpompaan toteuttaa sekä tehohoidossa että leikkaussalissa/heräämössä/osastohoidossa. Osa sairaanhoitajista näki tärkeänä myös häiriöiden ja mittausvirheiden vähentämisen, mikä toteutettaisiin laitteistoja ja laitteiden kosketuspintoja parantamalla. Noninvasiivisten menetelmien kehittäminen on toki helpompaa ja jossain tapauksissa turvallisempaa, kun esim. tartuntatautien riski minimoituu, mutta edellämainittujen häiriöiden sekä mittausvirheiden riski kasvaa noninvasiivisia menetelmiä käytettäessä.

Suuri ja kriittinen osa potilaasta kerättävästä tiedosta näytti puuttuvan nykyisestä tietojärjestelmästä, koska sekä leikkaussalissa että heräämössä kirjattiin potilaan tiedot omiksi paperitulosteiksi ja ne seurasivat potilasta teho-osastolle. Niitä tietoja ei myöskään siirretty automaattisesti esim. sähköiseen potilasrekisteriin. Pahimmassa tapauksessa nämä leikkaussalin ja heräämöjen tiedot eivät olleet aina käytettävissä potilaan siirtyessä teho-osastolle. Tämä havainto kertoo nykyisen potilastietojärjestelmän puutteellisuudesta ja vaikka uutta potilastietojärjestelmää ollaankin parhaillaan kehittämässä, on syytä huomioida kattavan ja toimivan potilastietojärjestelmän tärkeys sairaalassa: Se on potilasinformaation keskipiste ja sen päivittäinen käyttö ja toimivuus ovat sairaalahenkilökunnan toiminnan ydin.

Joillakin teho-osastoilla potilas oli kytketty vain laitteisiin, jotka näyttävät potilastiedon ainoastaan monitorilla (tietoa ei arkistoida) ja hälyttävät, kun potilaan tila heikkenee. Ongelmana hoitajat pitivät sitä, että mikäli laite hälyttää eikä hoitaja sitä kuule, potilaan henki voi olla vakavasti uhattuna, sillä laite ei osaa lähettää hälytysviestiä esim. langattomasti hoitajalle tai lääkärille. Jos laite voisi tehdä hälytyksen esim. kannettavaan hakulaitteeseen, hoitaja voisi kulkea teho-osastolla seuraamassa muitakin potilaita ilman että toisten valvonta vaarantuisi. Samalla hakulaite voisi välittää hälytyksen lisäksi ohjaavaa tietoa hälytyksen syistä.

7. Johtopäätökset

Sairaanhoidon ja terveydenhuollon teknologiset ratkaisut tulevat olemaan lähi vuosina merkittävän kehitystyön kohteina niin Suomessa kuin ulkomailla. Mittavia taloudellisia resursseja tullaan kohdentamaan sairaalateknologian ja laitekannan kehittämiseen eri puolilla maailmaa. Muiden toimialojen teknologiat ovat monessa tapauksessa sairaaloiden tekniikoita kehittyneempiä. Toisaalta sairaanhoidon säästövelvoitteet ja ammattitaitoisen sairaalahenkilöstön saatavuuden rajoittuminen lähivuosina vauhdittavat tarvetta tutkimus- ja hoitolaitteiden kehittämiseen.

Tehohoidossa olevan potilaan elintoimintojen seuranta kuvaa ehkä parhaiten sairaalatyön teknologisia haasteita. Potilas on yleensä huonon kuntonsa takia täysin riippuvainen lääketieteellisistä tutkimuksista ja annetuista hoitotoimenpiteistä. Nämä tutkimukset ja hoidot edellyttävät monien elintoimintojen yhtäaikaista seurantaa monipuolisilla laitekokonaisuuksilla, joissa nykyisin johtojen runsas määrä ja hankalat asennukset vaikeuttavat käytännön potilastutkimusta ja hoitoja. Tehohoitopotilaan tutkimuksen ja hoidon kehittämiseksi tässä tutkimuksessa etsitäänkin merkittävää parannusta tuottamalla malli "älykkääksi langattomaksi potilasvuoteeksi".

Tämän diplomityön päämäärä olikin hakea taustatietoa ja arvioida toteuttamismahdollisuudet "älykkään langattoman potilasvuoteen" kehittämiseksi. Tätä varten koottiin aluksi viiden sairaalan teho-osastoilla ja heräämöissä toimivilta sairaanhoitajilta heidän mielestään tärkeimmät tehohoitopotilaalta mitattavat parametrit, mittauslaitteiden laitekanta sekä sairaalaympäristön ja laitteiston kehitystarpeet. Tämän tutkimuksen keskeinen tavoite on hakea kaikki mahdollinen taustatieto, jotta "älykkään langattoman potilasvuoteen" prototyyppiä voidaan jatkossa kehittää yhdessä muiden tutkimuslaitosten ja yritysten yhteistyönä käytännön sovellukseksi.

Tiedon kokoamista varten tutkimuksessa vierailtiin neljässä sairaalassa tutustuen sairaalaympäristöön ja haastatellen 14 sairaanhoitajaa. Lisäksi tässä tutkimuksessa esiteltiin älykkään potilasvuoteen prototyyppi.

Tärkeimmät tehohoitopotilaalta mitattavat parametrit olivat: happisaturaatio, sekoittunut laskimosaturaatio, hengitystiheys, kaasujen vaihto, verenpaine, rytmi, pulssi, hapetus,

EKG, diureesi, kipu, ventilaatio, lämpötila, EEG, liike, sydämen minuuttitilavuus, keskuslaskimopaine, keuhkovaltimopaine sekä hermodynamiikka. Näiden elintoimintojen fysiologia ja monitoroinnin edellyttämä sähköisten toimintojen teoreettinen viitekehys käytiin läpi, jotta voidaan jatkossa suunnitella laitekokonaisuuksia kehitteillä olevaan "älykkääseen potilasvuoteeseen".

Tärkeimmiksi kehityskohteiksi sairaanhoitajat luettelivat potilaan sairausvuodetta ympäröivän kaapelimäärän vähennyksen, potilasvuoteen paremman liikuteltavuuden, moninkertaisen käsinkirjaamisen vähenemisen, potilastietojen automaattisen keruun sähköiseen potilaskertomukseen, sähköiseen potilasrekisteriin ja keskusvalvomon valvontamonitorien näytöille. Lisäksi tärkeänä nähtiin mittausten kehittäminen noninvasiivisilla menetelmillä sekä mittausvirheiden ja häiriöiden vähennys.

"Älykkään langattoman potilasvuoteen" kehittämistä varten koottiin kirjallisuudesta tieto langattomien sovellusten käyttökelpoisuudesta sairaalatyössä. Lyhyillä etäisyyksillä (WPAN) etenkin ns. Bluetooth-yhteydet vaikuttavat tällä hetkellä parhaimmilla yhteyksiltä sairaaloiden tarpeisiin. Myös muita vaihtoehtoja käytiin seikkaperäisesti läpi tutkimuksessa.

Yhteenvedon voidaan lopuksi todeta, että tehohoitopotilaan elintoimintojen monitorointiin olisi erittäin tärkeää mahdollisimman pian kehittää laitekokonaisuudet, koska tekemäni selvityksen mukaan monimutkaiset ja hankalat laitteet johtoineen näyttävät vaikeuttavan tällä hetkellä merkittävästi potilaiden tutkimusta ja hoitoa. Tavoitteena onkin päästä yksinkertaiseen, keskeisten elintoimintojen monitorointiin, jossa langattomuus takaa vaivattoman hoidon ja seurannan potilasvuoteessa. Toisaalta tieto elintoiminnoista voidaan kerätä potilasvuoteen omaan "muistiin" (kovalevy tms.), josta se on tarvittaessa luettavissa hoitotoimenpiteen aikana tai se voidaan edelleen lähettää sähköiseen potilasrekisteriin langattomasti. Tällaisen potilasvuoteen kehittäminen tulee tehdä yhteistyössä teknillisen tutkimuslaitoksen, lääketieteen asiantuntijoiden, sairaaloiden ja lääketieteellisen teknologian yritysten kanssa.

8 Lähdeluettelo

Ala-Laurila J., Mikkonen J., Rinnemaa J., ”Wireless LAN access network architecture for mobile operators”. IEEE Communications Magazine, Vol. 39(11), 82-89, November 2001.

Alasaarela E., ”Terveystenhoidon langaton tulevaisuus”. Yksityislääkäri, Vol. 2, 24-26, 2006.

Alesanco Á., Olmos S., García J., “Enhanced real-time ECG coder for packetized telecardiology applications”. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 10(2), 229-236, April 2006.

“Bluetooth - Wikipedia”. “<http://fi.wikipedia.org/wiki/Bluetooth>” [Viitattu 7.3.2007].

Bronaugh E. L., Lamdin W. S., “Electromagnetic Interference Test: Metodology and Procedures”. Interference Control Technologies Inc, Gainesville, Virginia, Vol. 6, (kpl 2.1, 2.5), 1988.

Budinger T. F., “Biomonitoring with wireless communications”. Annu Rev Biomed Eng, Vol. 5, 383-412, 2003.

Crumley G. C., Evans N. E., Scanlon W. G., Trouton T. G., “The design and performance of a 2.5-GHz telecommand link for wireless biomedical monitoring”. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 4(4), 285-291, December 2000.

“General Atomics, Photonics Division, Advanced Wireless Group”.
“<http://photonics.ga.com/uwb/uwb.html>” [Viitattu 15.8.2006].

Heikkilä J., ”EKG:n tulkinta aikuisilla”. Lääkärin käsikirja, Kunnamo ym. Kustannus Oy Duodecim, 61-62, 2006.

Hung K., Zhang Y-T., "Implementation of a WAP-based telemedicine system for patient monitoring". IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 7(2), 101-106, June 2003.

"IEEE 802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs)"
["http://grouper.ieee.org/groups/802/15/"](http://grouper.ieee.org/groups/802/15/) [Viitattu 7.3.2007].

Kaitera J., "Terveystenhoitopalvelut turvataan teknologialla". Aktuumi, Vol. 1, 8-9, 2005.

Khandpur R. S., "Biomedical instrumentation technology and applications". McGraw-Hill, 2005.

Kotilainen S., "UWB-tiedonsiirto vauhdilla PC-koneisiin". Prosessori, Vol. 6, 2006.

Liikanen E., "Tulevaisuuden haasteet ja mahdollisuudet".
["http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=SPEECH/01/248&format=HTML&aged=0&language=FI&guiLanguage=en"](http://europa.eu/rapid/pressReleasesAction.do?reference=SPEECH/01/248&format=HTML&aged=0&language=FI&guiLanguage=en) [Viitattu 7.3.2007].

Lin Y-H., Jan I-C., Ko P. C-I., Chen Y-Y., Wong J-M., Jan G-J., "A wireless PDA-based physiological monitoring system for patient transport". IEEE Transactions on Information Technology in Medicine, Vol. 8(4), 439-447, December 2004.

Masuda Y., Sekimoto M., Nambu M., Higashi Y., Fujimoto T., Chihara K, Tamura T.,
 "An unconstrained monitoring system for home rehabilitation. A wireless heart/respiratory rate sensor accessible to home-visit therapists". IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine, Vol. 24(4), 43-47, July/August 2005.

Nienstedt W, Hänninen O., "Ihmisen Fysiologia ja Anatomia". WSOY, 199-276, 2004.
 Paksuniemi K., "Leikkaussalin ja teho-osaston potilasmonitoroinnin langattomat anturi- ja tiedonsiirtoratkaisut", Pro Gradu, 2003.

Paksuniemi M., Sorvoja H., Alasaarela E., Myllylä R., Marzouki A., Rapeli J.,
 “Wireless sensor and data transmission needs and technologies for patient monitoring in
 the operating room and intensive care unit”. 27th Annual International Conference of the
 Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE-EMBS, 5182-5185, 2005.

Piipponen K., Sepponen R., Eskelinen P. “A Bio-signal Instrumentation System Using
 Capacitive Coupling for Power and Signal Isolation”, (painossa), 2007.

Raitakari I., ”Tiedonsiirron tekniikka ja terminologia”. Telelääketiede, Gummerus
 Kirjapaino Oy, 13-56, 1999.

Rosenberg, Alahuhta, Kanto, Takala, ”Anestesiologia ja tehohoito”. Duodecim, 303-
 311, 1999.

Rosenthal K., “New Frequencies, new monitoring technology”. Nursing Management,
 Vol. 34(3), 49-51, 2003.

“The Official Bluetooth Wireless Info Site”. “<http://www.bluetooth.com>” [Viitattu
 7.3.2007].

Tuominen R., ”Langaton tekniikka saapuu sairaalaan”. Aktuumi, Vol. 1, 4-7, 2005.

“Ultra-Wideband (UWB) Technology, Technology & Research at Intel”.
 “<http://www.intel.com/technology/comms/uwb/>” [Viitattu 7.3.2007].

Várady P., Benyó Z., Benyó B., ”An open Architecture patient monitoring system using
 standard technologies”. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine,
 Vol. 6(1), 95-98, March 2002.

Wang H., “Overview of Bluetooth Technology”.
 “http://www.pori.tut.fi/~mm/BT/Bluetooth_Overview.pdf” [Viitattu 7.3.2007].

“Wireless patient monitoring, part I: clinical perspective”. Dräger Medical, June 2005,
“[http://www.draeger-
medical.com/MT/internet/pdf/CareAreas/InfoMoni/mon_onenet_wireless_white_paper_
en.pdf](http://www.draeger-medical.com/MT/internet/pdf/CareAreas/InfoMoni/mon_onenet_wireless_white_paper_en.pdf)” [Viitattu 7.3.2007].

“ ZigBee - Wikipedia”. “<http://fi.wikipedia.org/wiki/Zigbee>” [Viitattu 7.3.2007].

“ZigBee Alliance - verkkosivut”. ”<http://www.zigbee.org>” [Viitattu 7.3.2007].

Liite 1 - Haastattelulomake

Seuraava haastattelulomake esitettiin yhteensä 14 sairaanhoitajalle 5 tutkimuskohteen sairaalassa.

Tehohoitopotilaan seuranta

Haastateltavan nimi:

Tehtävä:

Mitä elintoimintoja tehohoitopotilaan monitorointi mielestäsi erityisesti edellyttää:
.....

Mitä laitteita käytetään sairaalassasi em. toimintojen monitoroinnissa:

Tapahtuuko potilasvalvonta ns. "bed side" vai "keskusvalvomotasolla":.....

Miten käytännössä em. monitorointi sairaalassasi (osastolla) toteutuu (eli kuka mittaa ja kirjaa):.....

Miten tieto mitatusta tapahtumasta (esim. verenpaine) kirjautuu tällä hetkellä sairaalassasi (osastolla):.....

Mitä kehittämistarpeita näet tehohoitopotilaan monitoroinnissa tällä hetkellä:

.....